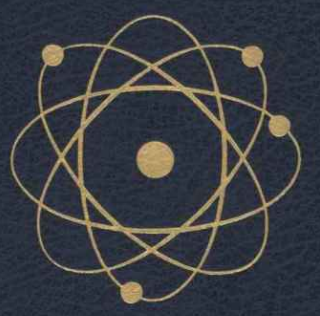
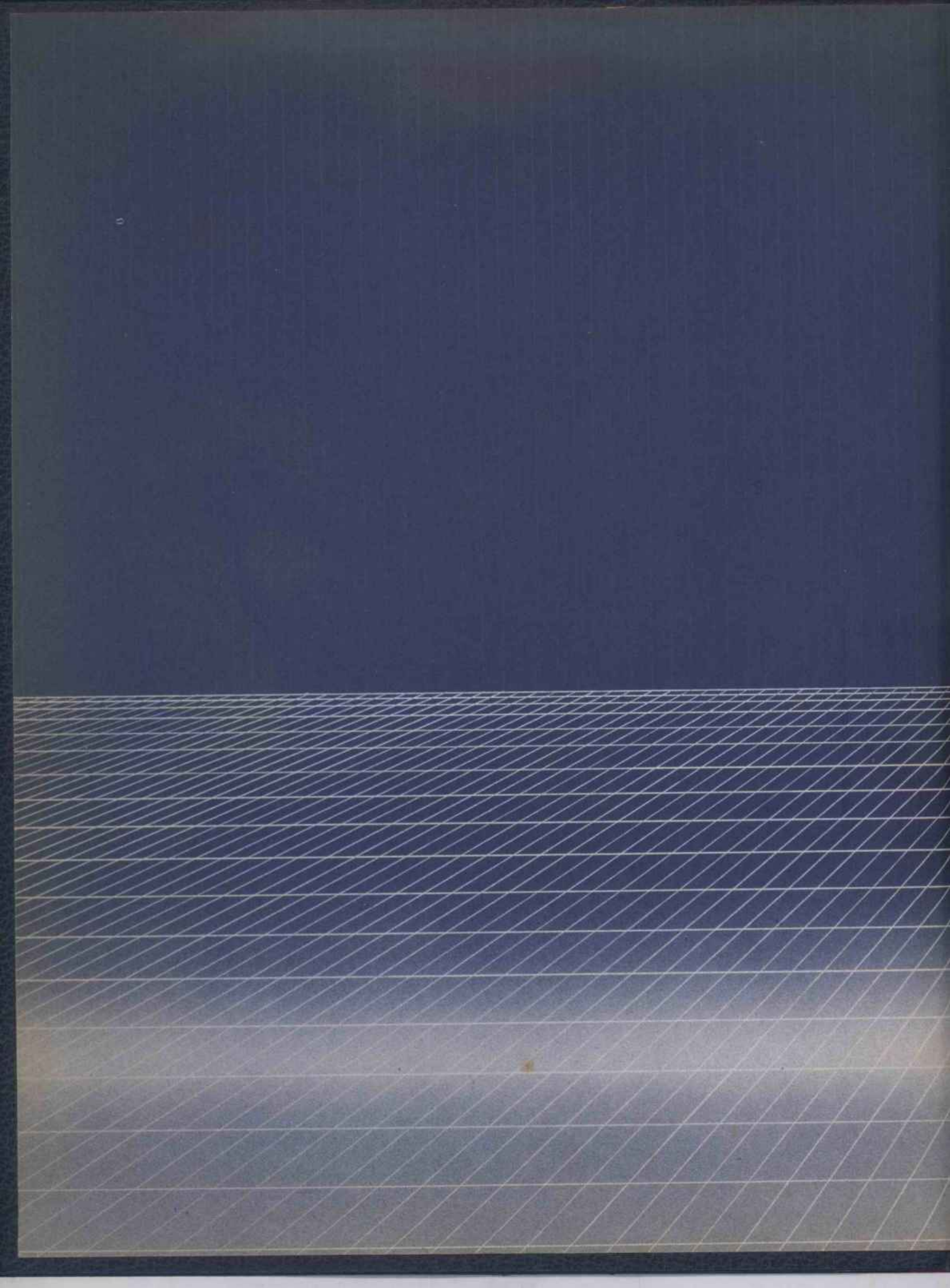


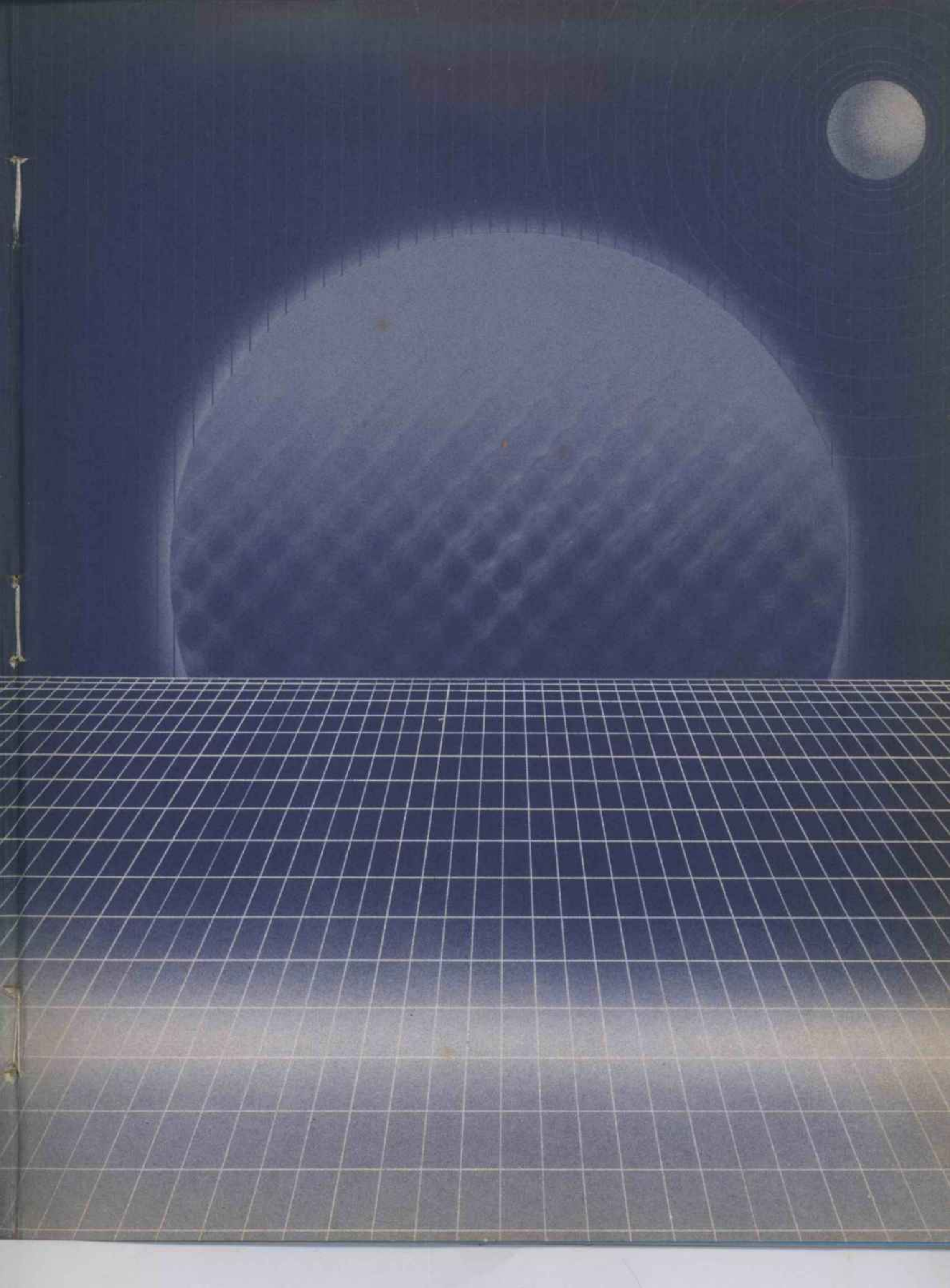
Ciencia y Técnica

2

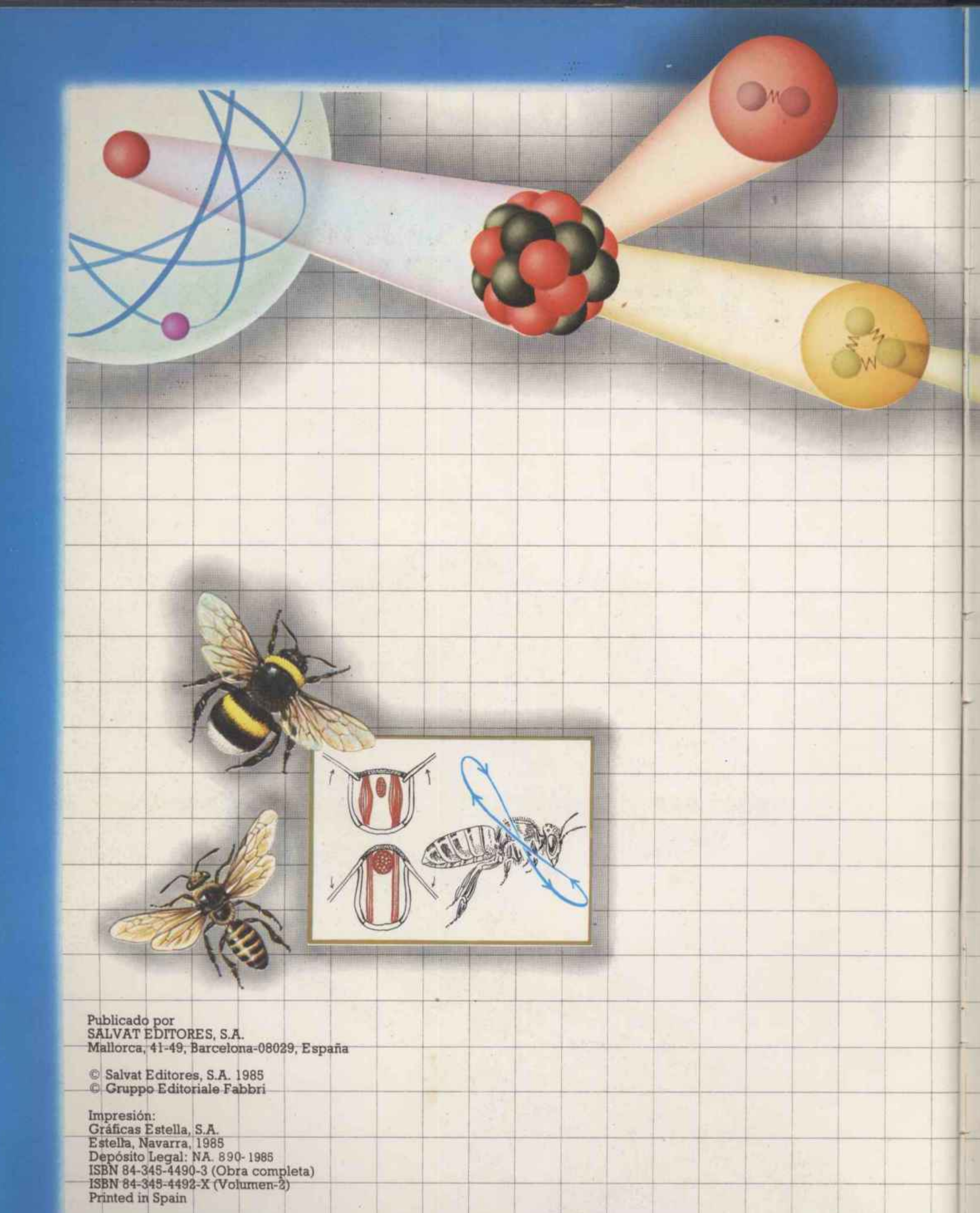
ARCO
BIOLOGIA

SALVAT



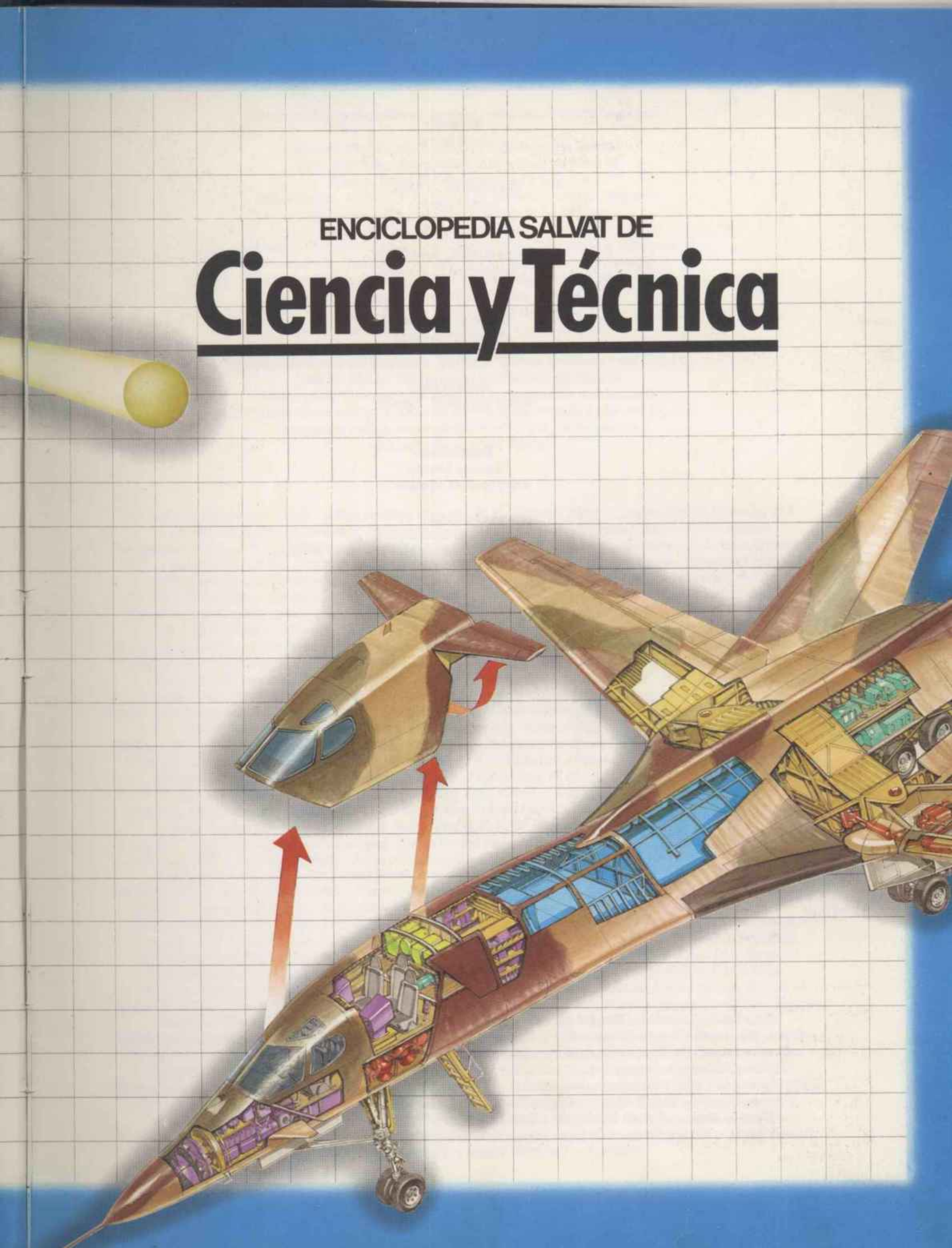


ENCICLOPEDIA SALVAT DE
Ciencia y Técnica



Publicado por
SALVAT EDITORES, S.A.
Mallorca, 41-49, Barcelona-08029, España

Impresión:
Gráficas Estella, S.A.
Estella, Navarra, 1985
Depósito Legal: NA. 890-1985
ISBN 84-345-4490-3 (Obra completa)
ISBN 84-345-4492-X (Volumen-2)
Printed in Spain


ENCICLOPEDIA SALVAT DE
Ciencia y Técnica

Director
Juan Salvat

Director de la obra:
Jesús Campos

Secretaría de redacción
Concepción Camarero

Director artístico
Francesc Espluga

Redacción
María Teresa M. Faraldo

Producción
Leonor Murillo

Prólogo
Pedro Laín Entralgo,
Presidente de la Real Academia Española de la Lengua



Redacción Edición Internacional

Christian Angermann – Donald Antrim – Timothy Bay – Trudy Bell – Shelley Berc – David Black – Diane Blanchard – Bonnie Borenstein – Judith Brister – Jean Brody – Serena Cha – Robert Crease – Peter Cunningham – Dr. Rhodes Fairbridge – Marguerite Feitlwitz – Corinna Gardner – Barbara George – Ellen Goldensohn – Jean Grasso – Fitz Patrick – Peter Gyallay-Pap – Steve Hall – James Harris – Doug Henwood – David Herndon – Paul Hoeffel – Andrea Kantor – Jonathan Katz – Jim Keegan – Philippa Keil – Percy Knauth – Bary Koffler – Barbara Kopit – Paulette Licitra – Becky London – Deborah Lumpee – Charles Mann – Robert MacVicar – Dale McAdoo – Fred Nadis – Joy Nager – Peter Oberlink – Robert Salter – Sandra Sharp – George Shea – Howard Smith – Zev Trachtenberg – Vieri Tucci – Edit Emili Villareal – Veronica Visser – Graham Yost – Sasha Zeif

Colaboradores científicos de este volumen, edición española:

Manuel Abejón, *Universidad Politécnica de Madrid*
Juan Blánquez, *Universidad Autónoma de Madrid*
Alberto Brito, *Universidad de La Laguna*
Javier Cacho, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Mercedes Campos, *Universidad de La Laguna*
José Luis Comellas, *Universidad de Sevilla*
Sebastián Dormido, *Universidad Nacional de Educación a Distancia*
Manuel Gil, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Francisco Grande Covián, *Universidad de Zaragoza*
José M. López Piñero, *Universidad de Valencia*
Juan R. Medina, *Universidad de Sevilla*
Nieves Meléndez, *Universidad Complutense*
Rosa María Miracle, *Universidad de Valencia*
Francisco Montero de Espinosa, *Instituto "Torres Quevedo" del C.S.I.C.*
José M. Morán, *Universidad Politécnica de Madrid*
Luis Pueyo, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
María Jesús Sainz de Aja, *Comisión Nacional de Investigación del Espacio*
Francisco Velilla, *Universidad Politécnica de Barcelona*
Eduardo Zamarripa, *Piloto*

Consejo de Redacción

Dr. Andrew Abrahams - *Bedford Stuyvescent Hospital, N.Y.* — Nancy Akre - *Cooper-Hewitt Museum, N.Y.* — Dr. Neil Baggett - *Brookhaven National Laboratory, N.Y.* — Dr. Thomas J. Barnard - *Columbia Presbyterian Hospital, N.Y.* — William Bates - *Computer consultant, N.Y.* — Terry Belanger - *Columbia University, N.Y.* — Roberto Brambilla - *Institute for Environmental Action, N.Y.* — Oscar A. Campa - *American Institute of Aeronautics and Astronautics, N.Y.* — Dr. A.L. Carsten - *Brookhaven National Laboratoy, N.Y.* — Dr. Lars Cederqvisit - *Gynecologist, N.Y.* — Carroll Cline - *Lighting consultant, N.Y.* — Dr. Paul Comer - *Anaesthesiologist, Montana* — John Dalton - *Modelworks, Inc, N.Y.* — David Devaleria - *Columbia University, N.Y.* — Ken Distler - *Ademco, Long Island, N.Y.* — Dr. Janice Dodds - *Columbia University, N.Y.* — David Dooling - *Huntsville Times, Huntsville, Alabama* — Lt. Robert Donovan - *U.S. Navy, N.Y.* — Prof. Patricia Dudley - *Barnard College, N.Y.* — Dr. Rene Eastin - *Long Island University, N.Y.* — Prof. Rhodes Fairbridge - *Columbia University, N.Y.* — Dr. Gerald Feinberg - *Columbia Univertsity, N.Y.* — Robert Feitlowitz - *Textiles consultant, N.Y.* — Leonard Feldman - *Leonard Feldman Electronic Lab, N.Y.* — John Fitch - *Automobile consultant, N.Y.* — Dr. Richard Fitzpatrick - *Bell Laboratories, N.Y.* — Dr. Robert Fried - *Psychiatrist, N.Y.* — Sara Friedman - *Author, N.Y.* — Dr. Michael Garvey - *Animal Medical Center, N.Y.* — Prof. Allan Gilbert - *Columbia University, N.Y.* — Dr. John Gmeiner - *Nebraska Psychiatric Institute, Nebraska* — Eugene Grisanti - *International Flavors and Fragrances Inc, N.Y.* — Annabelle Harris - *International Paper, N.Y.* — Kevin Hayes -*Typesetter, N.Y.* — Norman Hollyn - *Film editor, N.Y.* — Dr. Jonathan House - *Doctor, N.Y.* — Dr. Elizabeth Kellner - *Nutritionist, N.Y.* — Prof. Ellis Kolchin - *Columbia University, N.Y.* — Prof. Martin Kramer - *City College of New York, N.Y.* — T. Kuroiwa - *Japan Smoking Articles Corporated Assoc., Tokyo* — Prof. Charles Larmore - *Columbia University, N.Y.* — Dr. Warren Levin - *World Health Medical Grova, N.Y.* — Janet Loughridge - *American Health Foundation, N.Y.* — Dr. William Love - *Brookhaven National Laboratory, N.Y.* — Dr. John Maisey - *American Museum of Natural History, N.Y.* — Alan Macher - *Information Systems Group, N.Y.* — Dr. James Macpherson - *Engineering consultant, Virginia* — Eli Martin - *Architect, N.Y.* — Derrick McDowell - *Science consultant, N.Y.* — Elvin McDonald - *Author, N.Y.* — Dr. Kenneth Meisler - *Preventive and Sports Medical Center, N.Y.* — Jim Marchese - *Photographer, N.Y.* — Dr. Judith Molnar - *Biologist, N.Y.* — Dr. Peri Namerov - *Center for Population and Family Health, N.Y.* — Lt. Joseph Nimmich - *U.S. Coast Guard, N.Y.* — Dr. Ruth Nussenzweig - *NYU Medical Center, N.Y.* — Dom Perciballi - *Emergency medical technician, N.Y.* — Felix Peruggi - *Fireworks by Grucci, N.Y* — Alice Petropoulos - *National Council on Alcoholism, N.Y.* — Prof. James Polshek -*Columbia University, N.Y.* — David Pope - *Editor consultant, Conneticut* — Walter Reed - *National Automatic Merchandising Association, Illinois* — Dr. Ronald Rieder - *Psychiatrist, N.Y.* — Robert Robertson - *Oceaneering, Inc, Texas* — James Rosenthal - *Magnet Paint and Varnish, N.Y.* — Joe Scherer - *Cinema Interface, N.Y.* — Dr. Ralph Shutt - *Brookhaven National Laboratory, N.Y.* — Prof. Philip Smith - *Columbia University, N.Y.* — Betty Sprigg - *Pentagon, Washington, D.C.* — Timothy Steinhoff - *Gardening consultant, N.Y.* — D. William Strohmeier - *Ad Astra Communications, Connecticut* — Dr. Joseph Thach - *Pentagon, Washington, D.C.* — Peter Tischbein - *U.S. Army Corps of Engineers, N.Y.* — Joe Trammell - *NAVASYNC Sound, N.Y.* — Debbie Triantaphyllou - *MITER Inc.* — K.C. Tung - *American Institute of Aeronautics and Astronautics, N.Y.* — Prof. David Tyler - *Columbia University, N.Y.* — James Walkup - *New School for Social Research, N.Y.* — Walter Washko - *University of Connecticut, Connecticut* — Aura Weinstein - *American Institute of Aeronautics and Astronautics, N.Y.* — Lilian Yung - *Columbia University, N.Y.*—

Arco, arma

Desde hace más de 10.000 años antes de Cristo hasta la Edad Media, de Oriente a Africa y a las Américas, el arco y la flecha, con sus diversas variantes, eran las armas más extendidas y eficaces de que se disponía para la caza y la guerra.

Teoría del arco El primer arco fue, probablemente, poco más que un bastón flexible con una cuerda más corta atada a sus extremos. Las armas de arco históricamente más importantes —el arco y las flechas primitivos, la ballesta, el arco inglés, los arcos compuestos (construidos de varios materiales)— funcionaban basándose en el simple principio físico de convertir la energía muscular en energía de lanzamiento. La energía se produce tensando la cuerda del arco; esta energía queda almacenada mientras la cuerda se mantiene en esta posición y el arquero apunta, y se transforma en energía cinética de la flecha cuando el arquero libera la cuerda.

La eficacia de los diversos arcos —la parte de energía almacenada en el arco tenso, que se transmite a la flecha disparada— depende de su forma y de los materiales utilizados para fabricar el arma. Estas variables están estrechamente ligadas a los materiales disponibles, al progreso técnico de la cultura, al medio ambiente y al empleo del arma. Por ejemplo, para la caza en el bosque era preciso un arco corto, eficaz a pequeña distancia, mientras que la batalla en campo abierto requería arcos grandes, capaces de disparar flechas a larga distancia.

La Edad Media En Europa, el arco primitivo, el arco corto de un solo material (en general, madera, y con cuerda de cualquier material idóneo: cáñamo, fibra vegetal, fibra animal, seda, etc.), cayó en desuso después de la invención del arco inglés del siglo XI o XII. Este arma tenía una altura de 140-180 cm y disparaba una flecha de longitud igual a la mitad de su medida. Construido en madera de tejo, este tipo de arco era una eficaz arma bélica, ya que podía funcionar y ser recargado rápidamente; era preciso y portátil y tenía un alcance de más de 180 metros. Este modelo es el antecesor del arco moderno, utilizado para la caza y el deporte.

Contemporánea del arco inglés fue la ballesta, usada durante varios siglos en Europa. La flecha, u otro proyectil, se colocaba sobre un apoyo de acero y se disparaba mediante palanca y manivelas metálicas. El proyectil era retenido por un tope y se liberaba mediante un resorte. La ballesta lanzaba la flecha con mayor velocidad y a mayor distancia que el arco y, por tanto, era un arma más peligrosa. Tenía el inconveniente, respecto al arco, del lanzamiento y la recarga más lentos. Otros tipos de ballesta fueron utilizados en China y en Africa occidental.

Arcos compuestos Los pueblos asiáticos construyeron arcos compuestos, llamados así porque estaban hechos de cuerno, madera y tendones animales. Este tipo de arco fue empleado por Gengis Kan, y posteriormente diversas modificaciones lo convirtieron en un arma eficiente por su rapidez de funcionamiento, alcance y manejabilidad. Se inserta un trozo de madera entre una lámina de cuerno en la parte interna del arco, y una banda de tendón por la parte exterior. Tal construcción aprovechaba la propiedad de cada uno de los materiales para distribuir el esfuerzo (soportado por la madera), la compresión (concentrada en el cuerno) y la tensión (repartida sobre el tendón), obteniéndose una gran eficacia. El arco compuesto era más corto que el normal y podía ser usado perfectamente por un arquero a caballo.

Los indios de América no conocieron las armas de fuego hasta la llegada de los europeos, y utilizaron los arcos hasta mucho tiempo después de que cayeran en desuso en Europa. Además, aquí también varió la forma de los arcos según el medio en que se empleaban y los materiales disponibles. Los indios de las llanuras utilizaron arcos largos, hechos de madera, y algunos indios del Sudoeste construyeron arcos compuestos utilizando una banda de tendones, como hicieron las tribus de las regiones frías y áridas de Norteamérica.

Arcos modernos El arco moderno, usado para la caza, el tiro al blanco y el tiro a vuelo (concurso de distancia), reúne las características positivas del arco normal y del compuesto. Hoy se utilizan las fibras de vidrio y de plástico laminadas (unidas con resina y comprimidas en caliente) para construir el arco. Esto proporciona pesos uniformes, una empuñadura moldeada y un alojamiento para la flecha. Con rendimiento dos veces superior a los modelos del pasado, el arco moderno lanza la flecha a una velocidad de casi 65 metros por segundo.

Una variante del arco moderno es el arco de pie, utilizado para las competiciones de distancia. En 1971, el estadounidense Harry Drake se apoyó en la espalda, tensó el arco hacia adelante con el pie y tiró la flecha con ambas manos, lanzándola a una distancia de más de 1.850 metros, que constituye el récord mundial.

Véase **Ballesta**

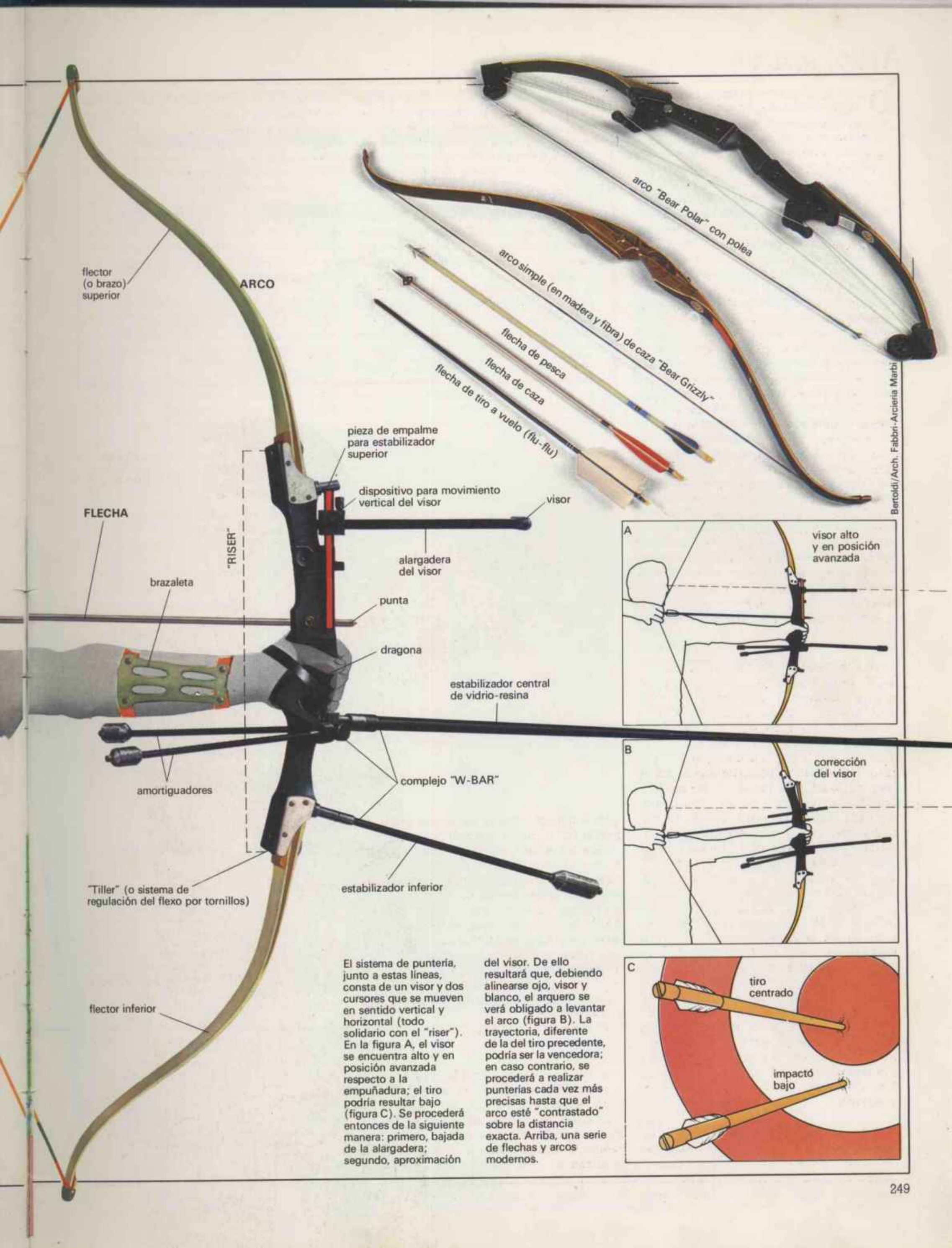
En el centro, la silueta de un arquero en el momento de disparar con un arco moderno. Este arco se diferencia del construido de un único trozo de material, sea de madera o fibra, ya que hoy se le prefiere compuesto de varios elementos que se unen mediante sistemas que utilizan el tornillo. En la figura, las líneas estructurales de un arco "Green-Horn Phoenix Td 400", arma de concurso.

Al sistema de tornillos encargado de la regulación de la curvatura de los dos "brazos tensores" se le llama "Tiller". Este arco imprime a la flecha un impulso de 19-22 kg aproximadamente, como si en la práctica se usaran seis arcos simples concentrados en uno solo. El alcance se homologa a 30-50-70-90 metros (distancias FITA, Federación de Tiro de Arco).

cuerda de drakon o de kevla (fibra de grafito)

muesca — penacho — asta

anillo del guardamano



El sistema de puntería, junto a estas líneas, consta de un visor y dos cursores que se mueven en sentido vertical y horizontal (todo solidario con el "riser"). En la figura A, el visor se encuentra alto y en posición avanzada respecto a la empuñadura; el tiro podría resultar bajo (figura C). Se procederá entonces de la siguiente manera: primero, bajada de la alargadera; segundo, aproximación del visor. De ello resultará que, debiendo alinearse ojo, visor y blanco, el arquero se verá obligado a levantar el arco (figura B). La trayectoria, diferente de la del tiro precedente, podría ser la vencedora; en caso contrario, se procederá a realizar punterías cada vez más precisas hasta que el arco esté "contrastado" sobre la distancia exacta. Arriba, una serie de flechas y arcos modernos.

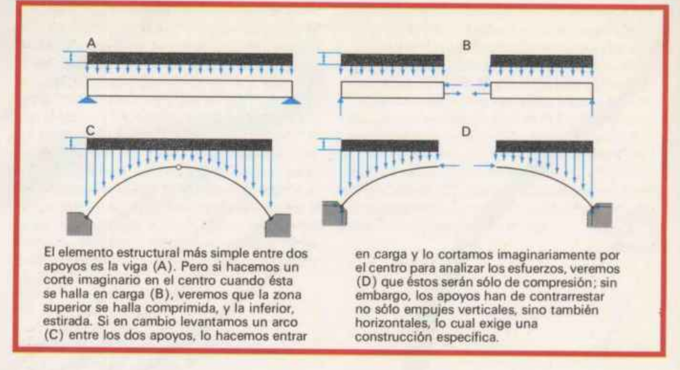
Arco, arquitectura

Pocas personas pueden afirmar no haber intentado nunca construir un castillo de naipes sin haberlo visto desmoronarse apenas empezaba a tomar forma. La culpa es de la fuerza de gravedad, que atrae los objetos hacia abajo. Una forma de interpretar la arquitectura es la de considerarla como una expresión de la lucha del hombre contra esta fuerza, aprovechando formas y materiales de manera que sus estructuras sean capaces de resistir la atracción de la gravedad.

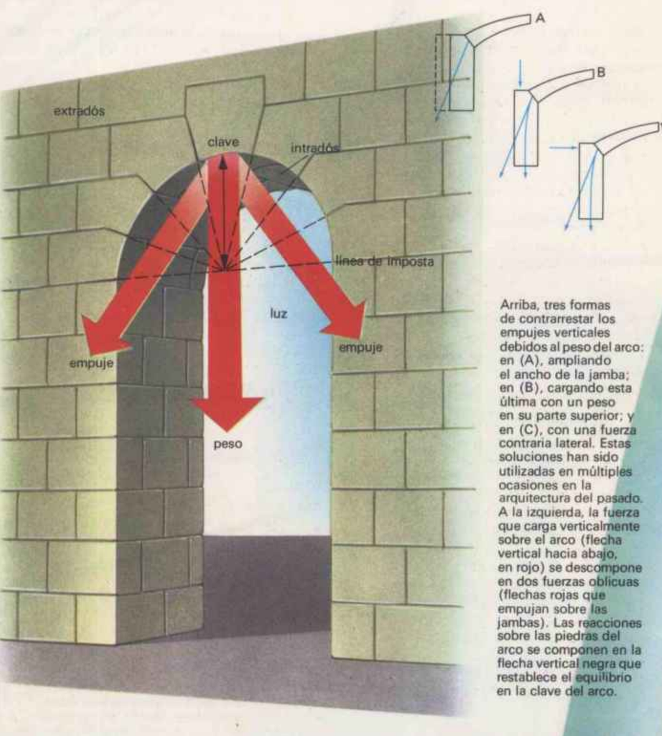
Todos los materiales, hasta los hormigones más pesados, son flexibles hasta cierto punto, y están sometidos a la atracción de la gravedad; esto ha constituido siempre un obstáculo para el hombre, desde que empezara a edificar su propia vivienda. Desde entonces, se han creado múltiples sistemas que han permitido cubrir grandes espacios con estructuras de piedra y madera, sin que se derrumbasen. Uno de dichos métodos prevé el uso del *arco*, constituido en esencia por una sección curvada hacia arriba, que cubre una luz o espacio abierto, y apoyada sobre dos soportes. (El cubrimiento de luces simplemente mediante vigas horizontales apoyadas sobre pilares o columnas constituye una solución más antigua y menos compleja del problema, denominándose *construcción adintelada*; ahora bien, las bóvedas, o sea, estructuras de medio cañón que forman una cubierta, constituyen ya una solución más avanzada que el arco simple). En el arco, además de la fuerza de gravedad, aparecen unos empujes laterales, por lo que los soportes están sometidos a dos fuerzas: una dirigida hacia abajo y otra hacia el exterior.

Su historia Es bastante probable que el arco haya sido "inventado" por casualidad, al querer construir una cubierta con ladrillos "en ménsula" (o sea, una cubierta en forma de V invertida). Dado que de aquellas tentativas debieron resultar, por lo general, techos que se desplomaban hacia el interior, los constructores intentarían sostenerlos, al menos momentáneamente, mediante apuntalamientos de madera. Los ladrillos tendían de todas formas a caer hacia el interior, resbalando uno sobre otro, incluso aunque la estructura auxiliar permaneciera en pie, por lo que los constructores rellenarían los espacios entre los ladrillos con argamasa, consiguiendo de esta forma estabilizar la estructura hasta poder finalmente eliminar los apoyos de madera.

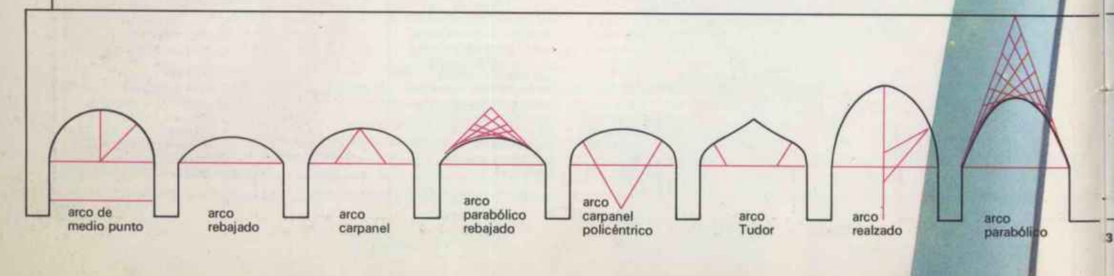
Pero fueron los griegos en la época helenística los que descubrieron que el em-



El elemento estructural más simple entre dos apoyos es la viga (A). Pero si hacemos un corte imaginario en el centro cuando ésta se halla en carga (B), veremos que la zona superior se halla comprimida, y la inferior, estirada. Si en cambio levantamos un arco (C) entre los dos apoyos, lo hacemos entrar en carga y lo cortamos imaginariamente por el centro para analizar los esfuerzos, veremos (D) que éstos serán sólo de compresión; sin embargo, los apoyos han de contrarrestar no sólo empujes verticales, sino también horizontales, lo cual exige una construcción específica.



Arriba, tres formas de contrarrestar los empujes verticales debidos al peso del arco: en (A), ampliando el ancho de la jamba; en (B), cargando esta última con un peso en su parte superior; y en (C), con una fuerza contraria lateral. Estas soluciones han sido utilizadas en múltiples ocasiones en la arquitectura del pasado. A la izquierda, la fuerza que carga verticalmente sobre el arco (flecha vertical hacia abajo, en rojo) se descompone en dos fuerzas oblicuas (flechas rojas que empujan sobre las jambas). Las reacciones sobre las piedras del arco se componen en la flecha vertical negra que restablece el equilibrio en la clave del arco.



puje que ejercían unos ladrillos sobre otros podía ser suficiente para mantenerlos en pie si era convenientemente equilibrado: ellos fueron los primeros en dejar de usar la argamasa y en construir arcos autosostenidos. Si bien los ejemplos no serán frecuentes hasta la arquitectura romana.

La dificultad mayor con que se encontraron quienes se disponían a edificar aprovechando el principio del arco fue la necesidad de dar con un tipo de soporte que estuviese en condiciones de contener los empujes del arco. Es interesante examinar las diversas soluciones, algunas bastante primitivas, utilizadas para resolver este problema. A partir del año 3000 a. de C., los egipcios construyeron una especie de arco (en realidad, en forma de V invertida), inclinando dos largos bloques el uno hacia el otro. Los egipcios en la época Baja y los griegos utilizaron cuatro pilares, dos por cada lado, inclinándolos hasta que se cruzaran. La estructura se fijaba después con argamasa. Estas soluciones permitían, efectivamente, contrarrestar el empuje de la gravedad, pero con ellas sólo se podía cubrir luces en vanos pequeños, y en efecto, raramente superaban los 2 metros.

El arco curvo permitió a los constructores cubrir distancias mayores y sostener cargas que normalmente habrían deformado una viga recta. Además, las pequeñas *dovelas* o piedras en forma de cuña con que se construía el arco eran fáciles de transportar y manejar, haciendo más simples los aspectos prácticos de la construcción. Los micénicos, hacia el 1200 a. de C., construían formas arqueadas "a hueso" (sin argamasa; en realidad, más asimilables al sistema adintelado que el arco) con tres toscos bloques de piedra. El bloque central era siempre más ancho que los restantes (y precisamente con ello los micénicos se aproximaron más al auténtico arco), y se introducía como una cuña entre los otros dos. El empuje hacia el exterior ejercido por el bloque central sobre la cara superior de los otros dos bloques impedía que estos se derrumbaran hacia adentro.

Los romanos fueron los primeros en mejorar las técnicas helenísticas y etruscas. Ellos sabían que la fuerza ejercida hacia abajo por el arco es notable y que ha de ser contrarrestada por pilares robustos. Su innovación consiste en lo siguiente: en descubrir que los arcos podían apoyarse sobre pilares más esbeltos dispuestos en fila; en efecto, el empuje lateral de un arco equilibra el del arco adyacente. Si los arcos colocados en los extremos de las filas están suficientemente sostenidos, el conjunto entero se mantendrá en pie. He aquí de qué manera los romanos llegaron a construir sus grandes acueductos, dos de los cuales pueden admirarse intactos aún hoy: el Pont du Gard, de Nîmes, en Francia, y el acueducto de Segovia, en España.

Tanto los griegos como los etruscos y los romanos utilizaron casi exclusivamente el arco semicircular, llamado *de medio punto*, que fue el heredado por la arquitectura occidental. Los musulmanes, en cambio, prefirieron los arcos de herradura, que pueden verse aún hoy en España y en el norte de Africa; así como formas más decorativas y complejas que extendieron por los territorios islámicos hasta la India.

También se introdujo el uso de arcos rebajados cuando el tamaño de las piedras de que se disponía no era suficiente como para cubrir grandes luces. Dado que la capacidad estructural del arco es mayor cuanto mayor es la altura respecto de la anchura, el *arco apuntado* es una obvia alternativa al arco semicircular.

Todos nosotros conocemos el arco apuntado tal y como ha sido utilizado en las grandes catedrales europeas del período gótico. Sin embargo, este tipo de arco que se desarrolló desde los siglos XII y XIII fue empleado antes en Mesopotamia y otras zonas del Asia Menor, y fue traído a Europa antes de la Edad Media por los persas sasánidas. Los constructores góticos, sin embargo, no recurrieron al arco gótico por razones exclusivamente estéticas: hicieron más bien un esfuerzo consciente y sistemático para lograr que en una misma iglesia todas las bóvedas tuvieran la misma altura, prescindiendo de la anchura. Ellos utilizaron el arco como un elemento estructural a usar no solamente en un muro o en un vano, sino en un edificio entero. El arco gótico permitió variar la inclinación de los arcos, una vez descubierto el principio básico según el cual los lados de los arcos góticos debían ser independientes el uno del otro. Uno de los principales resultados de este descubrimiento fue que las paredes de una catedral gótica perdieron gran parte de su significado estructural. Los pilares, conectados los unos a los otros por los arcos, contrafuertes y bóvedas, se hicieron del todo autosostenidos. Este progreso encontró una notable resistencia fuera de Francia. En Alemania, España y especialmente en Italia, pueden verse aún hoy iglesias de tradición románica construidas en el período gótico con muros insólitamente anchos y bóvedas más planas.

Ingenieros y arquitectos han descubierto en el transcurso del tiempo muchas otras posibilidades nuevas para el arco. El advenimiento del acero, del hormigón armado y de la madera laminada ha permitido notables modificaciones en la mecánica y en la utilización del arco. Este ya no tiene por qué estar necesariamente construido con elementos singulares, dovelas y sillares; hoy el arco puede ser completamente rígido, exigiendo sólo un soporte vertical. O bien puede estar constituido por sutiles láminas y con los esfuerzos distribuidos de manera que se consiguen las ventajas de las vigas, sobre todo en cuanto a la posibilidad de obtener soportes ligeros.

Puede que el arco más notable hasta ahora construido por el hombre sea el Gateway Arch, en el centro de Saint Louis: tiene una altura de casi 200 m y está fabricado en acero inoxidable.

Véase **Arquitectura; Bóveda y cúpula**


Baguzzi/Arch. Fabbri

En la foto, el Pont du Gard, en Nîmes, que se remonta a la época de Augusto y que se ha mantenido casi intacto hasta nuestros días.

Abajo, esquemas de diferentes tipos de arco con la indicación para cada uno de la forma de dibujarlo. Los segmentos corresponden a los radios de los círculos con los que se han trazado las curvas más usuales. Si la curva es una parábola, ésta se ha obtenido mediante la envolvente; en los casos del arco parabólico rebajado y del arco parabólico, han sido trazados dos segmentos y se han subdividido en partes iguales: uniendo por pares los puntos de las divisiones, se obtiene la envolvente de las parábolas.

arco gótico | arco policéntrico | arco rampante | arco de herradura | arco conopial | arco polilobulado

Arco iris

Según la mitología griega, Hera, reina de los dioses, mandaba cada vez que quería ponerse en contacto con alguno de los hombres a su mensajera Iris, que se ponía su "vestido multicolor" y partía. Así, en la antigua Atenas los mortales sabían cuándo Iris estaba cumpliendo alguna misión: el arco iris era su "vestido".

El *arco iris* aparece cuando los rayos de sol atraviesan gotas de lluvia. Para que ese fenómeno se produzca los rayos solares deben incidir con un ángulo determinado, que generalmente se da cuando el sol está "bajo"; por ello, se produce con más frecuencia a media tarde, en el momento en que las nubes acaban de descargar, sobre todo si la precipitación se ha producido en forma de chaparrón.

El arco iris se observa siempre en la parte del cielo opuesta al Sol y es visible sólo si el observador tiene la lluvia delante y el Sol a sus espaldas. El ojo del observador, el Sol y el centro del arco descrito por el arco iris deben estar aproximadamente alineados.

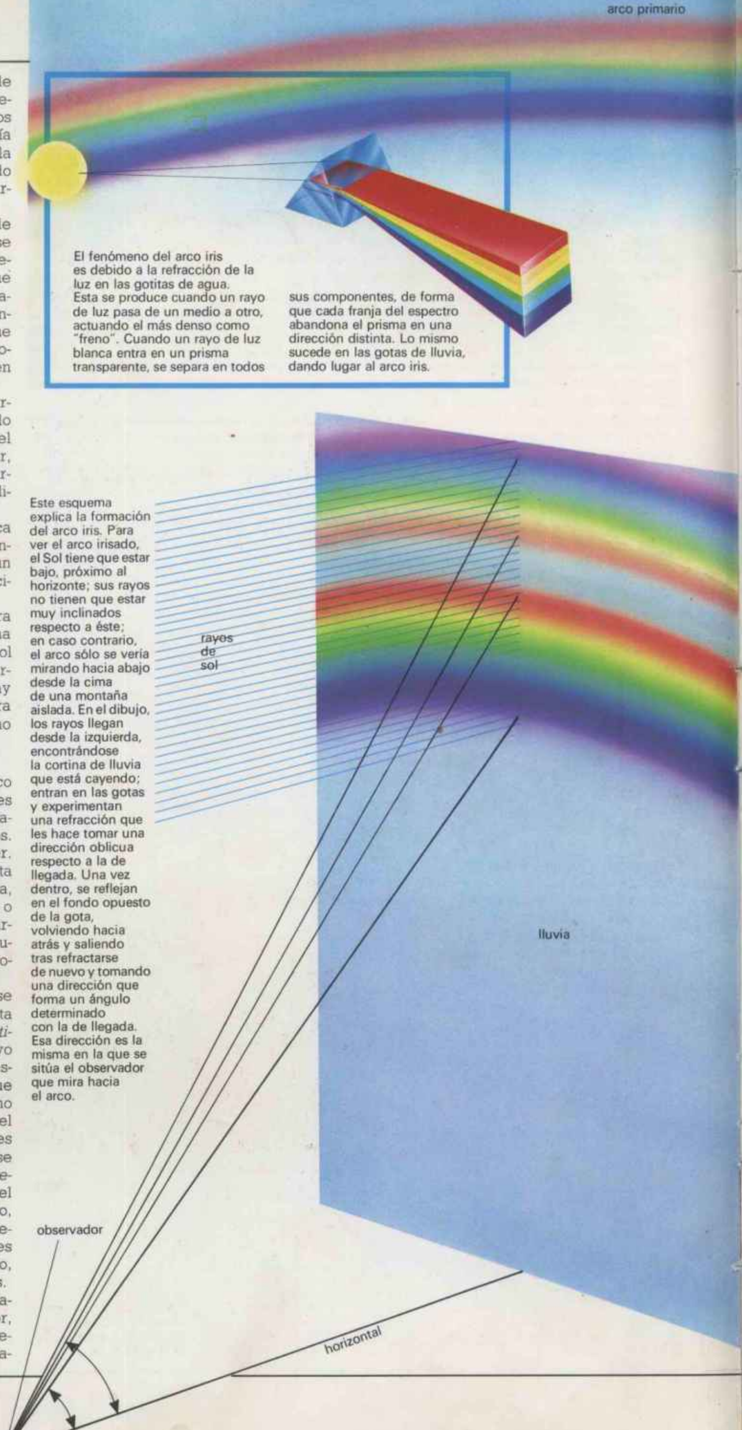
El centro geométrico de la curva teórica de la que el arco es una parte se encuentra por debajo del horizonte, formando un ángulo igual al que forma el Sol por encima del horizonte.

El tamaño del arco depende de la altura del Sol: cuando está bajo, se puede ver una gran parte del arco; mientras que si el Sol está alto, se ve un arco menor. De todas formas, como se aprecia en los dibujos, hay unos límites máximo y mínimo de la altura del Sol, rebasando los cuales el fenómeno no se produce.

Tipos de arco iris En realidad, el arco iris no es único cada vez sino doble, uno es el *primario* y otro el *secundario*, de los cuales el primario tiene colores más intensos. El secundario no siempre se puede ver. Debido a la fuerza de gravedad, una gota de agua, cuando es grande, no es esférica, sino que tiene forma alargada de lágrima o de pera; lo que hace que se formen dos arco iris, resultado de la unión de los diminutos arco iris formados por las numerosas gotas de agua.

En definitiva, lo que sucede cuando se forma un arco iris primario es que la gota de agua se comporta como un *prisma óptico*, que descompone la luz. Así, si un rayo de luz blanca solar penetra en la gota desde arriba, y puesto que los colores que componen la luz blanca tienen cada uno una *longitud de onda* distinta, al pasar del aire, más ligero, a la gota de agua, que es más densa, los rayos de distintos colores se desvían de su trayectoria, es decir, se *refractan*, cada uno con ángulos distintos; el color con longitud de onda mayor, el rojo, se refracta menos, y el de menor, el violeta, más, mientras que los restantes colores se refractan cada uno con su ángulo propio, que está comprendido entre aquellos dos.

El arco iris secundario, cuya observación puede necesitar una atención mayor, se produce por un rayo de luz solar que penetra en la gota por abajo. También ese ra-



El fenómeno del arco iris es debido a la refracción de la luz en las gotitas de agua. Esta se produce cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro, actuando el más denso como "freno". Cuando un rayo de luz blanca entra en un prisma transparente, se separa en todos sus componentes, de forma que cada franja del espectro abandona el prisma en una dirección distinta. Lo mismo sucede en las gotas de lluvia, dando lugar al arco iris.

Este esquema explica la formación del arco iris. Para ver el arco irisado, el Sol tiene que estar bajo, próximo al horizonte; sus rayos no tienen que estar muy inclinados respecto a éste; en caso contrario, el arco sólo se vería mirando hacia abajo desde la cima de una montaña aislada. En el dibujo, los rayos llegan desde la izquierda, encontrándose la cortina de lluvia que está cayendo; entran en las gotas y experimentan una refracción que les hace tomar una dirección oblicua respecto a la de llegada. Una vez dentro, se reflejan en el fondo opuesto de la gota, volviendo hacia atrás y saliendo tras refractarse de nuevo y tomando una dirección que forma un ángulo determinado con la de llegada. Esa dirección es la misma en la que se sitúa el observador que mira hacia el arco.

refracción y reflexión doble
en una gota de agua, que da lugar
a la formación del segundo arco

arco secundario

refracción y reflexión simple
en una gota de agua en el borde rojo

Si las gotas de lluvia caen con forma esférica perfecta, un rayo de luz que penetre en ellas puede tener distinta suerte: entrar por el centro de la esfera y salir atravesándola derecho, o puede entrar cerca del borde y refractarse en la superficie de entrada, de forma que al llegar al fondo forme un ángulo que le impida salir. En ese caso el ángulo con la superficie es menor que el llamado de *reflexión total.* De esta forma el rayo se queda en el interior. Según sea el ángulo de entrada (llamado *ángulo de incidencia*), el rayo puede experimentar una reflexión o dos. El ángulo de salida es distinto en cada uno de los casos, y a cada uno le corresponde un arco del arco iris doble. Puesto que la refracción a la entrada y a la salida se produce con un ángulo distinto según sea el color de la luz, la luz blanca del Sol se separa en el iris y el arco aparece como una sucesión de arcos de colores.

refracción y reflexión simple
en una gota de agua en el borde violeta

yo es descompuesto en los colores que lo forman, pero es reflejado en la parte posterior de la gota, saliendo después al aire. El arco iris secundario presenta la sucesión de colores invertida respecto al primario, con el rojo en la parte alta del espectro y el violeta en la parte inferior.

En el arco iris secundario se pueden apreciar a veces otras franjas de colores, originadas por rayos que no inciden paralelos y que llegan a las gotas de lluvia desde distintas direcciones. Cuando un arco con este origen se superpone a uno primario, se produce una mayor variedad de colores. Normalmente, los arcos espúreos —que así se les denomina— son de color más claro y se producen sólo cuando las gotas de lluvia son muy pequeñas.

Cuando las gotas son extremadamente minúsculas, se produce un arco prácticamente blanco, visible en la misma dirección que el astro que lo genera: su nombre es *paraselene.* De noche, el paraselene producido por el reflejo del Sol en la Luna aparece como un anillo difuso alrededor de ella; arcos de este tipo reciben a veces el nombre de arco iris (o círculos) lunares. Se ven raramente, y sólo si quien los observa se encuentra dentro de la nube de niebla, es decir, si ésta se extiende hasta la posición del observador.

Si hay una cortina de lluvia entre el observador y el arco iris, el arco se ve en la lluvia que cae. Este efecto se puede notar especialmente en los llamativos arco iris producidos en el riego por aspersión de los jardines.

Ciencia y "poesía" El arco iris es un motivo que se repite en la mitología, no sólo en la griega y romana, sino también en la incaica, azteca, hindú y cristiana.

Aristóteles fue el primero en indagar de forma racional sobre la naturaleza del arco iris, hasta el punto de describir con precisión el arco iris primario y el secundario; pero la explicación exacta de sus causas no era posible sin el conocimiento del *espectro,* que fue descrito por primera vez por Isaac Newton en el siglo XVII. En el mismo siglo el filósofo francés Descartes intentó explicar el fenómeno del arco iris, pero no tuvo éxito por ignorar la naturaleza y las leyes de la reflexión y refracción de la luz.

Véase **Color; Difracción; Espectro; Luz; Reflexión; Refracción**

A. Gutiérrez

La refracción en las gotas de agua se puede producir de dos maneras, como se representa arriba. Al observador le llegan los rayos reflejados que formarán el arco desde las direcciones que forman los ángulos indicados abajo, viendo a menudo dos arcos. Estos son visibles en todas las direcciones que forman el mismo ángulo con la horizontal; por eso la reflexión irisada forma un arco. Hasta ahora se han indicado todos los rayos solares que acabarán dando lugar al arco, pero ¿y los otros? Los demás, después de la reflexión, no pueden verse, porque no llegan al ojo del observador; pero si éste se mueve, serán los que le hagan ver un nuevo arco, mientras que los representados dejarán de contribuir a la visión. Por esto, si se mira un arco iris a la vez que uno se desplaza, se le sigue viendo en la misma dirección. A veces se puede presentar un tercer arco iris, debido a una triple reflexión de la luz, aunque es un fenómeno poco frecuente. Los arcos espúreos, resultado de la superposición de un arco primario y otro secundario, son de color más claro y se forman cuando las gotas de agua son muy pequeñas.

Archaeopteryx

Hace alrededor de 160 millones de años una extraña criatura, a medias entre reptil y ave, que conseguía cernerse y planear en el aire, murió sobre una llanura fangosa de la región que hoy se conoce como Baviera, en Alemania. En aquellos días esa parte de Europa estaba cubierta por mares poco profundos y lagunas, y todos los animales que morían en el lodo —dejado por las mareas cuando se retiraban— eran rápidamente cubiertos por un polvo gaseoso levantado por fuertes vientos. Los cadáveres quedaban estrechamente "sellados" en sus tumbas fangosas, para transformarse, al final, en fósiles envueltos por un sudario de roca, una vez que el lodo se hubiera endurecido.

El fósil de este extraño animal, en particular, quedó allí sin ser molestado durante millones y millones de años, hasta que un día de 1862 unos obreros que trabajaban en una cantera de caliza cercana a Solnhofen lo encontraron. El animal fósil, llamado *Archaeopteryx* por los científicos que lo estudiaron, fue adquirido por el British Museum de Londres, donde está todavía expuesto. Archaeopteryx es un nombre que deriva de dos palabras que en griego significan "alas arcaicas". Este fósil es el antecesor más antiguo conocido hasta el momento de los millones de aves que surcan hoy nuestros cielos.

Desde hacía mucho tiempo los paleontólogos tenían conocimiento de un reptil extinguido, capaz de volar y con un aspecto terrorífico, llamado *Pterodactylus* ("dedos alados"), pero el descubrimiento del *Archaeopteryx* hace posible la reconstrucción de una especie hasta entonces ignorada, que era más ave que reptil, aunque en ella estaban presentes, en igual medida, elementos de uno y de otro animal.

Alrededor de cien años después de que el *Archaeopteryx* fuese instalado en las salas del British Museum, el director del mismo, sir Gavin De Beers, llevó a cabo un estudio detallado sobre el fósil. Lo que sigue es un resumen simplificado de las principales conclusiones a las cuales ha llegado.

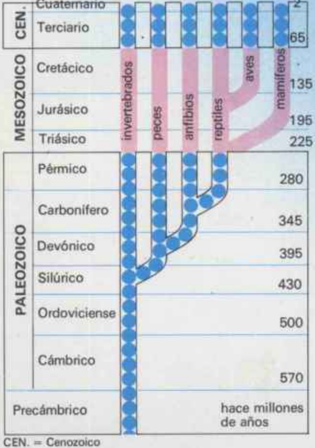
El *Archaeopteryx* posee una larga cola formada por muchos huesos separados (vértebras) a lo largo de toda su extensión. Si esto es la norma en un reptil, no se observa nunca en el esqueleto de las aves actuales, en las que la cola es más corta y las vértebras se han unido formando un único hueso de la cola que se denomina *pygostilo*. En el *Archaeopteryx* las vértebras son estructuralmente similares a las de muchos reptiles, y totalmente diferentes a las de las aves. Los huesos del *Archaeopteryx* no están llenos de aire como los de las aves (todos podemos fácilmente observar los huesos "vacíos" de un pollo o de otra ave, una cualidad que se denomina con el término de *esqueleto neumático*). La presencia de dientes es completamente reptiliana; ningún ave posee dientes, a excepción de dos especies extinguidas, ambas cercanas al estadio reptiliano de la evolución. Los *huesos metacarpianos* (los huesos largos situados, en el hombre y en otros animales, detrás de los dedos) del *Archaeopteryx* están separados, mientras que en las aves están todos unidos. Las uñas de los tres dedos de las patas son reptilianas (aunque los ejemplares jóvenes de dos especies de aves actuales, el avestruz y el emú, poseen uñas en dos dedos). El *peroné*, el hueso externo más sutil del miembro posterior, es tan largo como la más voluminosa tibia en el animal *Archaeopteryx*, mientras que en las aves es más corto. Las costillas del *Archaeopteryx* son también reptilianas, completamente diferentes a las de las aves. Las características del estómago son totalmente distintas de las del estómago de las aves.

Si las características presentes en el *Archaeopteryx* son tan decididamente reptilianas, ¿qué liga esta especie a las aves actuales? En síntesis, existen cuatro elementos comunes: la naturaleza del pubis (la región del cuerpo que comprende los órganos sexuales); la presencia de una *horquilla ósea* formada por la fusión de los huesos de la clavícula; el *dedo posterior*, que permite a las aves completar el acto de prensión, y, el elemento más importante de todos, las plumas, que en el *Archaeopteryx* son de los mismos tipos que se encuentran en las aves modernas: plumas de vuelo, plumas de cola y plumas de cobertura.

Pterosaurio
(Rhamphorhynchos)

Abajo, esquema evolutivo de las aves a partir de los reptiles, ocurrida en el Jurásico; el *Archaeopteryx* es la forma de transición entre las dos clases.

En diagonal, de arriba abajo, Pterosaurio (un reptil volador), *Archaeopteryx* y paloma. En la parte de abajo pueden verse, reconstruidos, sus esqueletos.



De las escamas a las plumas El modo exacto en que las escamas de los reptiles se han ido transformando en plumas no es enteramente conocido ni siquiera hoy, pero se sabe que la composición química de las escamas y de las plumas es muy similar. Los paleontólogos están capacitados para establecer con una cierta seguridad que el *Archaeoptéryx* y sus descendientes plumados han evolucionado derivando de un grupo de pequeños dinosaurios que vivió en un período geológico muy antiguo, conocido como el Triásico, hace unos 225 millones de años. Eran reptiles de pequeña estatura, bípedos, con un cráneo del tipo del *Archaeopteryx*. Los paleontólogos creen que algunas especies de estos reptiles se habían acercado gradualmente a los árboles y que en un millar de siglos habrían evolucionado a esos animales de sangre caliente, de colores vivos y brillantes, que llamamos aves.

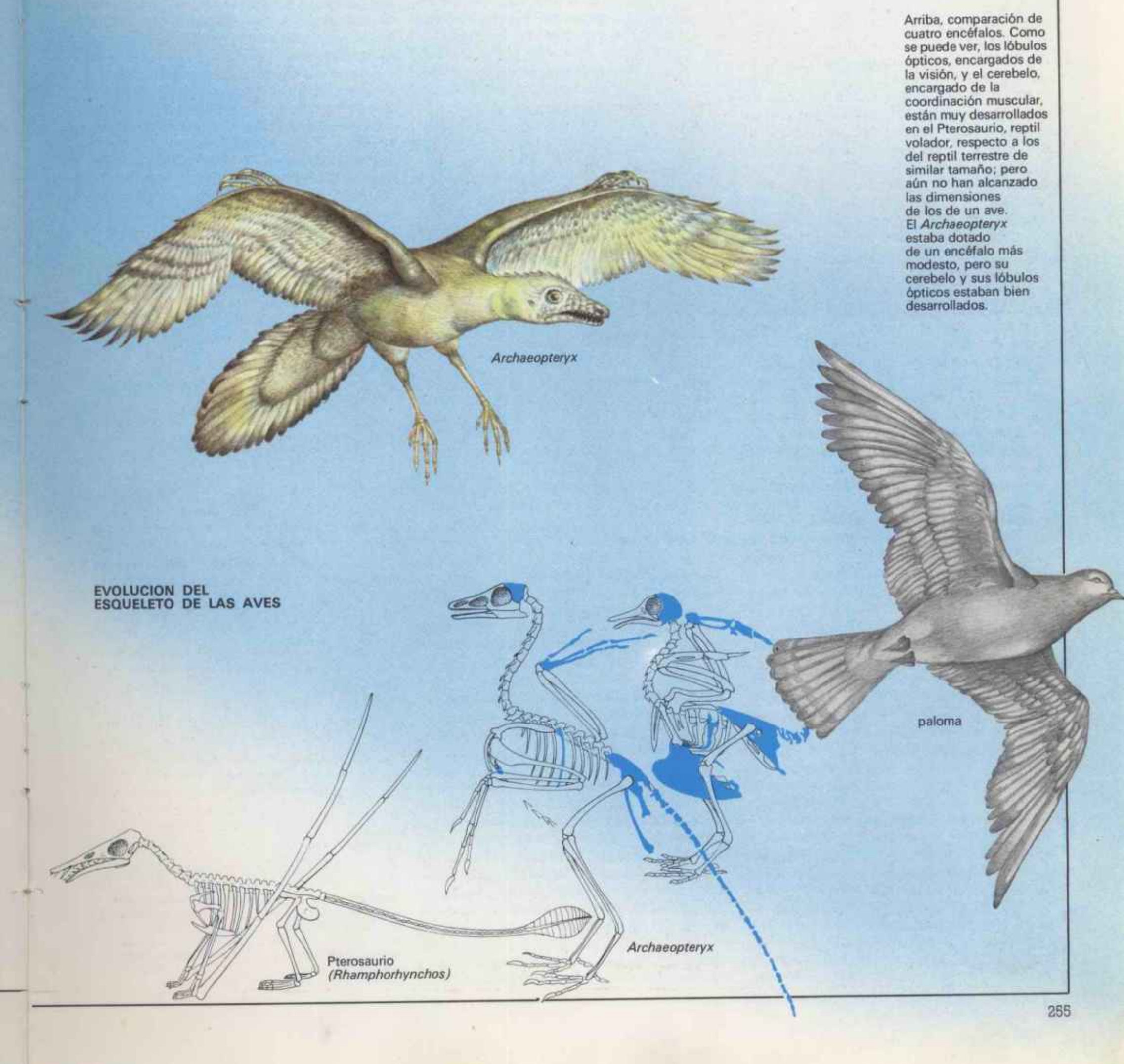
Existen pocos fósiles encontrados de especies extinguidas de aves, sobre todo porque las plumas o los huesos llenos de aire son demasiado frágiles para que puedan soportar los procesos de fosilización, lo que equivale a decir que los cadáveres se descomponen antes de que las rocas como la caliza se sitúen sobre ellos. Es ciertamente un suceso afortunado para los científicos que entre los antecesores de las aves esté esta robusta criatura, de huesos pesados, todavía medio reptil y medio ave, que encontró su propia muerte hace cerca de 160 millones de años y que ha dejado su huella en los estratos calcáreos sedimentados de Solnhofen, en Baviera.

Véase **Ala de animal; Aves; Evolución animal; Mesozoica, era**

En la era Secundaria, la explosión evolutiva de los reptiles los había llevado a invadir todos los hábitats, desde el marino al aéreo. Los reptiles voladores, sin embargo, evolucionando a formas excepcionalmente eficientes para el vuelo, estaban sujetos a grandes limitaciones por lo que se refería a su forma aerodinámica y al peso relativo. El elemento determinante de la separación entre el ave y el reptil fueron las plumas. La eficiencia conferida por éstas al ala permite enseguida a la nueva forma viviente desarrollarse por una vía independiente, alcanzando también una mayor eficiencia y una mayor ligereza en las formas y en las dimensiones del cráneo, en la estructura de todos los huesos y hasta en las capacidades metabólicas y hábitos alimenticios.

RELACION ENTRE LOS ENCEFALOS DE ALGUNOS ANIMALES

Arriba, comparación de cuatro encéfalos. Como se puede ver, los lóbulos ópticos, encargados de la visión, y el cerebelo, encargado de la coordinación muscular, están muy desarrollados en el Pterosaurio, reptil volador, respecto a los del reptil terrestre de similar tamaño; pero aún no han alcanzado las dimensiones de los de un ave. El *Archaeopteryx* estaba dotado de un encéfalo más modesto, pero su cerebelo y sus lóbulos ópticos estaban bien desarrollados.

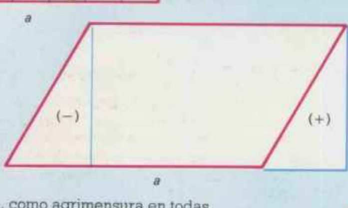


Area y volumen

Existe una leyenda que atribuye el nacimiento de la *Geometría*, que en griego significa *medida de la tierra*, a la necesidad que tenían los antiguos egipcios de deslindar sus diferentes propiedades tras cada inundación anual del Nilo. Dicha leyenda, que bien pudiera parecer una tesis *moderna* mantenida por un sociólogo de la ciencia, un antropólogo cultural o un materialista histórico, procede del primer historiador griego de la Matemática y discípulo de Aristóteles, Eudemo de Rodas (c. 300 a. de C.), y ha sido recogida luego, entre otros, por Proclo en sus *Comentarios a los Elementos de Euclides*, en el siglo V de nuestra era.

Obviamente la leyenda tiene varias lecturas. Una primera de corte psicológico, ya vista por Eudemo y Proclo, es la de que las ideas más abstractas tienen un substrato empírico; otra sociológica, afirmando que son las necesidades prácticas las que originan la ciencia. Cabe incluso una cierta interpretación histórica, si se hace en clave simbólica; en efecto, la Geometría nace, en buena medida, como agrimensura en todas las grandes civilizaciones antiguas —Egipto, Mesopotamia, Extremo Oriente, etc.— e incluso en estadios anteriores de desarrollo de los pueblos sedentarios.

Al igual que el hombre primitivo accede a *contar*, distinguiendo cantidades discretas, se inicia en el proceso de *medir* magnitudes continuas, mediante la comparación entre dos de la misma naturaleza. Este proceso, que hoy nos parece simple, tiene, no obstante, serias dificultades: ¿Cuál es el elemento de comparación? ¿Cómo se acepta uno idéntico por comunidades lo suficientemente amplias? En algunos casos, como en los de longitud o tiempo, la Naturaleza parece insinuar esos elementos de referencia o unidades, la longitud de un pie humano, la duración de un día, por ejemplo, pero en muchos casos, como las medidas de la extensión de superficies y sólidos, que llamamos respectivamente *área* y *volumen*, la cosa no es tan inmediata. Hoy parece obvio cuáles deben ser las unidades de área y volumen y cuál su relación con las de longitud, sin embargo ¿por qué razón no se eligieron en forma de triángulos? Ya en épocas muy primitivas parece haberse adoptado unidades de área en forma de cuadrado, relacionando debidamente las mismas con las de longitud y reduciendo el problema de medir superficies, al menos para figuras geométricas simples, al más sencillo de medir longitudes y calcular aquellas a partir de estas mediante reglas sencillas. Babilonios y egipcios conocían técnicas de cálculo para prácticamente todo tipo de figuras poligonales y circulares (con razonables aproximaciones de π). Cuando se evoluciona de una Geometría de base experimental y orientada a la práctica inmediata a una Geometría abstracta y de fines más amplios (en Geodesia o Astronomía, por ejemplo), se plantean problemas más complejos. Hay que pasar del conocimiento de casos concretos o de reglas empíricas a fórmulas generales, hay que afinar los conceptos, hay que enfrentarse con el problema de las medidas fraccionarias y, lo que es más difícil, con los inconmensurables (el famoso caso de la diagonal del cuadrado respecto al lado o, más difícil todavía, de la longitud de la circunferencia con su diámetro) y, por último, hay que abordar el cálculo *exacto* de áreas y volúmenes de contornos curvos. Esas tareas son acometidas en Grecia —patria de la Geometría, y de toda la Matemática como ciencia *exacta*— y, en gran medida, resueltas. Sólo muchos siglos después, tras el Renacimiento europeo y, sobre todo, en los siglos XVII y XVIII con el desarrollo del concepto de integral, se consigue rematar algunas cuestiones planteadas por los geómetras griegos. Incluso son resultados bastante recientes los de descifrar la dificultad intrínseca de la llamada cuadratura del círculo o de criticar las concepciones ingenuas de área y volumen desde la moderna *Teoría de la Medida y la Integral*.



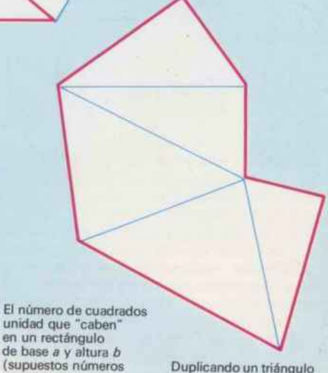
Algunas ideas básicas Aceptada la idea intuitiva de que el área de una figura es el número de veces que puede superponerse sobre ella el cuadrado de lado unidad, se llega inmediatamente a una fórmula para el área del rectángulo como producto de las longitudes de ambos lados.

El proceso puede seguirse observando que cualquier paralelogramo es suceptible de transformarse, sin ganar ni perder área, en un rectángulo equivalente (se llaman *equivalentes* dos figuras geométricas cuando tienen el mismo área). Se obtiene así el resultado fundamental de que el área de un paralelogramo es el producto de una cualquiera de sus bases por la altura correspondiente. Del que es inmediato obtener (simplemente duplicando el triángulo con su simétrico, de modo que se forme un paralelogramo) la fórmula que da el área del triángulo como un medio del producto de base por altura.

Hasta tal punto es importante este último resultado, que la teoría moderna del área de figuras poligonales, que pretende obviar las dificultades conceptuales de la teoría ingenua, parte de ella como definición, y de la prueba de que el resultado es independiente de la base elegida, y reencuentra, entonces, la idea de que a un cuadrado de lado unidad le corresponde la unidad como área.

Una vez conocida la del triángulo, el área de cualquier figura plana limitada por una poligonal puede calcularse por descomposición en triángulos. La dificultad se reduce a la determinación de las dimensiones de los mismos a partir de las del polígono. A lo largo de la Historia se han ido encontrando fórmulas sumamente ingeniosas para casos de figuras con ciertas formas especiales (como polígonos regulares, por ejemplo).

Los auténticos problemas aparecen cuando las figuras tienen contornos curvos. Si se conforma uno con un valor aproximado (lo que a efectos prácticos sucede siempre), existen múltiples expedientes de so-



El número de cuadrados unidad que "caben" en un rectángulo de base *a* y altura *b* (supuestos números enteros) es, evidentemente, $a \times b$. Restando y sumando un mismo triángulo se comprueba que esa expresión vale para cualquier paralelogramo.

Duplicando un triángulo se obtiene un paralelogramo; el área del triángulo será, por tanto, la mitad. Por último se ve que todo polígono puede reducirse a suma de triángulos.

lución. El más inmediato consiste en inscribir y circunscribir polígonos, de un número de lados tanto más alto cuando mayor aproximación se quiera, y calcular sus áreas *exactas* por descomposición en triángulos; el área de la figura será un valor intermedio entre ambas, que pueden tomarse como valores aproximados por defecto y exceso o, bien, promediarse. Más cómodo resulta cubrir el área por una red de cuadrados, suficientemente pequeños para el nivel de aproximación requerido; entonces se tienen dos acotaciones del área, una inferior y otra superior, dadas respectivamente por las sumas de cuadrados íntegramente contenidos en el interior de la figura y la de cuadrados exteriores o que contienen el contorno de la misma. Naturalmente que estos métodos están sugiriendo uno para el cálculo exacto: el del paso al límite, lo que en algunos casos puede hacerse con relativa facilidad, pero que en la inmensa mayoría sólo es posible realizar razonablemente recurriendo al cálculo integral. Cabe igualmente utilizar diferentes fórmulas aproximadas (unas de origen tradicional, otras deducidas del cálculo aproximado de integrales).

En el cálculo aproximado caben también recursos que se salen del estrecho campo de la Geometría. Por ejemplo, puede recortarse un modelo (de tamaño natural o a escala) del área a calcular, hecho con un material homogéneo y de espesor constante, pesarle y dividir su peso por el de un cuadrado unidad del mismo material y espesor que el modelo. La técnica moderna dispone también de intégrafos y planímetros, que son dispositivos capaces de realizar la operación matemática de integrar de modo mecánico. De todos modos, a la altura de nuestro tiempo la mejor técnica aproximada consiste en la utilización de los recursos del Cálculo Numérico y la Informática.

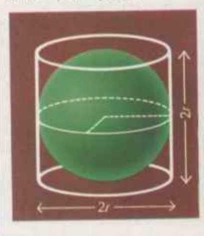
Como hemos señalado, la solución general del problema del cálculo de áreas de contornos curvos sólo tuvo solución (al menos, teórica) con la aparición del Cálculo Integral, que es hoy el método usual para obtener fórmulas exactas, aunque no siempre expresables en términos elementales y, menos aún, de aplicación numérica sencilla. No obstante, muchas de ellas pueden también obtenerse por métodos más o menos laboriosos, que suponen un paso al límite explícito o que lo obvian con algún razonamiento sutil. Así ha sucedido antes de la invención del Cálculo Integral y ha habido geniales maestros en conseguirlo, como Arquímedes o Kepler. Veamos algunos casos simples.

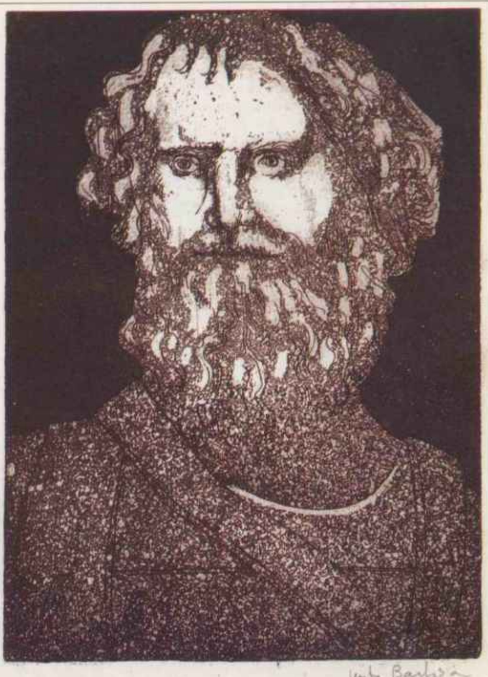
Por ejemplo: si un círculo de radio r se considera dividido en muchos sectores, y estos son tan pequeños como para despreciar las diferencias entre sus áreas y las de los triángulos circunscritos, resultará que cada sector tendría un área elemental de valor $\frac{1}{2}rl$, siendo l la longitud de arco (aproximadamente igual a la cuerda base del triángulo), y el área del círculo valdría $A = \Sigma\frac{1}{2}rl = \frac{1}{2}r\Sigma l$ con Σl la suma de todos los arcos, es decir, la longitud de la circunferencia $2\pi r$; o sea, $A = \pi r^2$. Obtenida esta área, son más o menos fáciles de obtener las del sector y segmento circulares, las de anillo circular, las de diferentes tipos de lúnulas, etcétera.

Ya Arquímedes consiguió resultados para casos más complejos por el método de exhaución (equivalente a dividir en elementos pequeños y pasar al límite en vez de integrar como hacemos nosotros), aunque luego utilizara finos argumentos rigurosos para justificar los resultados obtenidos heurísticamente. Un caso clásico, y típico para aplicar el método, es el del segmento de parábola. Para segmentos de elipse Arquímedes no tuvo éxito; sin embargo su genialidad le permitió obtener el área de la elipse completa por un razonamiento brillantísimo. Dadas una elipse de diámetros $2a$ y $2b$ y una circunferencia de radio a con centro el de la elipse, es fácil probar, si se toman coordenadas cartesianas según los ejes de la elipse, que las ordenadas de los puntos de la circunferencia y de la elipse están en la proporción b/a (en la época de Arquímedes no se utilizaban, naturalmente, coordenadas y había que hacer razonamientos puramente geométricos). De ahí se concluía que las áreas de la elipse y de la circunferencia estaban en la misma proporción; es decir, que el área buscada era $(b/a)\,\pi a^2 = \pi ab$.

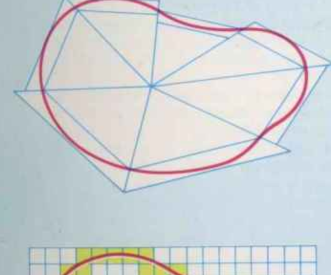
Arquímedes (287-212 a. de C.) nació y murió en Siracusa, a manos de uno de sus conquistadores romanos. Parece que estudió en Alejandría. Fue uno de los más geniales matemáticos de todos los tiempos y pionero en la aplicación de la ciencia a la ingeniería, a la guerra y a la vida cotidiana. Precursor, entre otras cosas, del Cálculo integral, estaba tan orgulloso de su resultado sobre las áreas y volúmenes de la esfera y el cilindro circunscrito que mandó se inscribiera en su tumba (los de la esfera son los 2/3 de los del cilindro):

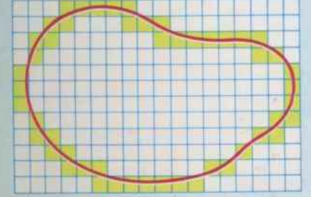
	Area	Volumen
Cilindro	$6\pi r^2$	$2\pi r^3$
Esfera	$4\pi r^2$	$(4/3)\,\pi r^3$

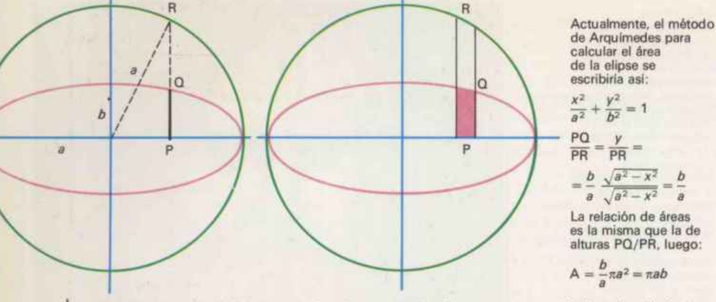




El área de cualquier figura puede aproximarse, por defecto o exceso, calculando la de los correspondientes polígonos inscritos o circunscritos que, a su vez, se reducen a triángulos. También pueden usarse retículas de cuadrados para el mismo fin.







Actualmente, el método de Arquímedes para calcular el área de la elipse se escribiría así:

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}=1$$

$$\frac{PQ}{PR}=\frac{y}{PR}=$$

$$=\frac{b}{a}\,\frac{\sqrt{a^2-x^2}}{\sqrt{a^2-x^2}}=\frac{b}{a}$$

La relación de áreas es la misma que la de alturas PQ/PR, luego:

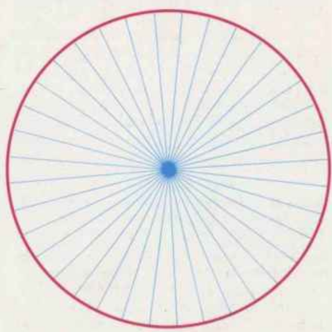
$$A=\frac{b}{a}\pi a^2=\pi ab$$

Cuando se trata del área exterior de una figura sólida, la dificultad aumenta. Los casos más sencillos son los de las figuras poliédricas; para ellas basta calcular las áreas de las distintas caras y sumarlas. Las superficies poliédricas gozan de la propiedad de ser desarrollables, es decir, aplicables sobre el plano. Basta para comprobarlo imaginarse un poliedro hueco y su superficie como si fuera de papel, el simple uso de las tijeras convierte la superficie poliédrica en plana (la operación contraria, convertir el llamado *desarrollo plano* en la figura poliédrica, es aún hoy un conocido ejercicio escolar). Resulta normalmente más sencillo realizar el cálculo de una superficie desarrollable sobre un dibujo del desarrollo. Este es el caso de algunas superficies de contornos curvos pero que, al igual que los poliedros, gozan de la propiedad de ser desarrollables. Las más notables y sencillas son el cilindro y el conc de revolución rectos. El primero tiene por desarrollo lateral un rectángulo de altura la del propio cilindro y de base la longitud de la sección recta del mismo, $2\pi r$ si es r su radio; por tanto, el área vale $2\pi rh$, a la que hay que sumar el área de las dos secciones, cuyo valor es πr^2. El cono de revolución recto se desarrolla según un sector de círculo y, por tanto, si el radio de la base es r y la generatriz tiene longitud l su área es $\frac{2\pi r}{2\pi l}\pi l^2=\pi rl$, o también $\pi r\sqrt{h^2+r^2}$ si en vez de la generatriz se conoce la altura, h; a este área lateral habría que sumar, en su caso, el de la base πr^2. Análogamente, podrían obtenerse áreas de figuras parecidas; por ejemplo, si se trata de un tronco de cono de revolución, una simple resta da el área πrs, siendo s la longitud del segmento de generatriz.

La cuestión se complica extraordinariamente cuando se trata de superficies no desarrollables. En tal caso el cálculo integral es el instrumento a utilizar; las integrales dobles son, en realidad, el límite de las sumas de pequeños cuadriláteros construidos sobre la superficie o sus aproximaciones en los planos tangentes respectivos. A veces, el paso al límite puede realizarse de una forma fácil u obviarse con algún razonamiento de tipo heurístico. El propio Arquímedes probó que el área de la superficie esférica es cuatro veces la de su círculo máximo, $4\pi r^2$ (precisamente la misma que el desarrollo lateral del cilindro circunscrito o 2/3 del área total de dicho cilindro).

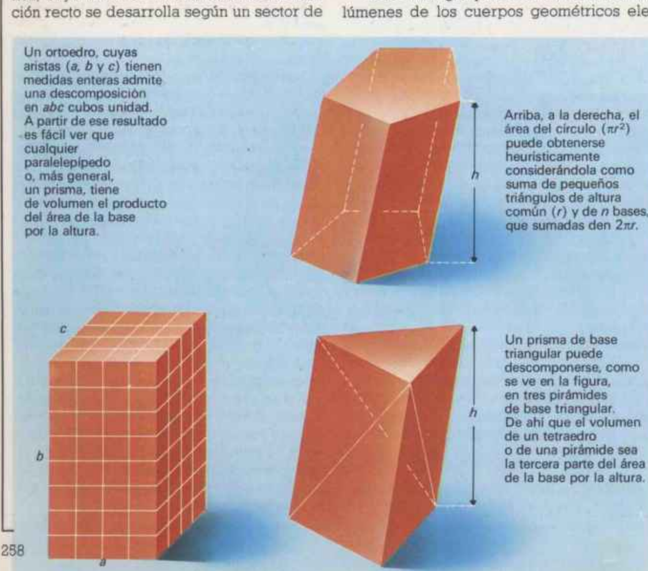
Ideas análogas permiten calcular los volúmenes de los cuerpos geométricos elementales. El *ortoedro* (o paralelepípedo recto rectángulo) tiene un área *abc*, siendo *a*, *b* y *c* las medidas de sus aristas, porque puede incluirse en él ese número de cubos unidad. La técnica de sustituir volúmenes equivalentes permite, como en el caso de las áreas, extender dicho resultado al de los paralelepípedos en general: el volumen es el área de la base por la altura. Operaciones muy simples (descomponer prismas de base cualquiera en varios de base triangular y duplicar prismas de base triangular para formar paralelepípedos) permiten obtener la fórmula más general para el volumen de un cuerpo prismático de bases paralelas: área de la base por la altura.

El paso decisivo en toda la teoría es el siguiente. Se prueba que dos pirámides cuyas bases tengan las mismas áreas —aunque de formas poligonales diferentes— y las mismas alturas son equivalentes (es decir, tienen el mismo volumen) y luego se demuestra que un prisma de base triangular puede descomponerse en tres tetraedros equivalentes. Por tanto, cualquier tetraedro o pirámide tiene por volumen un tercio del



área de la base por la altura. Dicho resultado capital puede también tomarse como definición y deducir los otros resultados de él.

Conocido el volumen del tetraedro, el de cualquier cuerpo poliédrico puede obtenerse como suma de los correspondientes a su descomposición en tetraedros. Para un cuerpo de contornos curvos hay que recurrir a métodos análogos a los señalados antes para las áreas (los cuadrados serán ahora cubos, y los triángulos, tetraedros) para poder obtener resultados aproximados. El paso al límite directo o los métodos del Cálculo Integral darán valores exactos. De todos modos también caben, como en el caso de las áreas, razonamientos *ad hoc* ingeniosos para obtener algunos resultados. Por ejemplo, probando la equivalencia de cilindros a prismas y de conos a pirámides, los geómetras griegos demostraron que el cilindro y el cono de revolución rectos tienen por volúmenes $\pi r^2 h$ y $(1/3)\pi r^3 h$ respectivamente, siendo r el radio de la base y h la altura. Es más, otra vez el genial Arquímedes probó que el volumen de la esfera era $(4/3)\pi r^2$. Una propiedad fun-



Un ortoedro, cuyas aristas (*a*, *b* y *c*) tienen medidas enteras admite una descomposición en *abc* cubos unidad. A partir de ese resultado es fácil ver que cualquier paralelepípedo o, más general, un prisma, tiene de volumen el producto del área de la base por la altura.

Arriba, a la derecha, el área del círculo (πr^2) puede obtenerse heurísticamente considerándola como suma de pequeños triángulos de altura común (r) y de n bases, que sumadas den $2\pi r$.

Un prisma de base triangular puede descomponerse, como se ve en la figura, en tres pirámides de base triangular. De ahí que el volumen de un tetraedro o de una pirámide sea la tercera parte del área de la base por la altura.

damental de las áreas y volumenes, que ya conocían los griegos, y que es evidente al observar las fórmulas, puede expresarse verbalmente en los siguientes términos: dos figuras semejantes con razón de semejanza k tienen sus áreas en proporción k^2, y sus volúmenes, en k^3.

Una nota histórica Como se comprende fácilmente, aun sin tomar en serio la leyenda citada al principio, es evidente que el cálculo de áreas y volúmenes es una de las partes de la Matemática más ligadas a las necesidades prácticas de los hombres, primero elementales (agricultura, construcción) y más complejas luego (geodesia, tecnología, etc.) Por ello, su desarrollo ha estado muy ligado al de dichas necesidades; así, babilonios y egipcios desarrollaron métodos elementales y otros no tanto; por ejemplo, conocían la fórmula exacta del tronco de la pirámide de base cuadrada o una buena aproximación al número π, la de $(16/9)^2$. Por su parte, como se ha citado anteriormente, los griegos llegaron hasta donde se puede realmente llegar sin Cálculo Integral (Y, de hecho, algo más lejos). A lo largo de la era romana o de la Edad Media no se producen avances espectaculares; tampoco parece que otras civilizaciones alcanzaran conocimientos superiores a los de los griegos. De todos modos, matemáticos musulmanes y cristianos transmiten, aplican y amplían en algunos casos los resultados de los griegos.

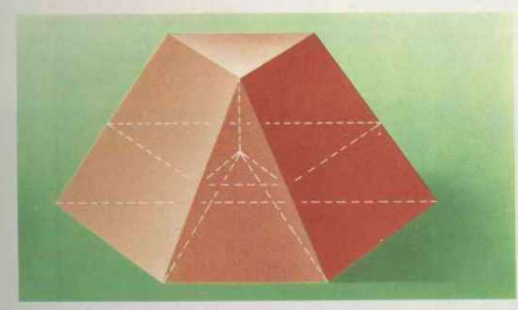
Ya en plena modernidad, Kepler (1571-1630), famoso por sus leyes sobre el movimiento planetario, que son el precedente de los descubrimientos de la mecánica newtoniana, publica en 1615 un libro de fines más prácticos, *Nova stereometria doliorum vinariorun* ("Nueva estereometría de los barriles de vino"), en el que desarrolla fórmulas exactas o aproximadas para el volumen o capacidad de noventa tipos de barriles a fin de facilitar el cálculo a los comerciantes vinateros. Uno de sus instrumentos fundamentales para obtener resultados era dividir los sólidos en una infinidad de elementos de tamaño infinitesimal (los llamados *indivisibles*) de formas elementales, cuyos volúmenes fueran fáciles de calcular y sumar. Así obtuvo de nuevo el volumen de la esfera de radio r reduciéndola a infinitas pirámides de base infinitesimal y vértice en su centro; en efecto, $V = \Sigma \frac{1}{3} rs = \frac{1}{3} r \Sigma s$, siendo Σs la superficie total $4\pi r^2$, y por tanto $V = \frac{4}{3}\pi r^3$. Dichos argumentos, poco rigurosos y utilizados sin los escrúpulos de Arquímedes, preludiaban el Cálculo Infinitesimal. Un resultado también interesante que obtuvo fue el del volumen del *toro* (anillo circular de sección circular).

El cilindro y el cono de revolución pueden desarrollarse fácilmente, y así calcular sus áreas laterales y totales, ya que el desarrollo se compone de un rectángulo y dos círculos, y de un sector y un círculo respectivamente.

Próximo cronológicamente a Kepler estuvo Cavalieri (1598-1647), discípulo de Galileo y autor de dos libros sobre el tema de los *indivisibles*, que también obtuvo interesantes resultados, aunque con una concepción algo diferente. Cavalieri no descomponía, calculaba y luego sumaba, sino que más bien establecía correspondencias entre indivisibles equivalentes de figuras distintas; por otra parte, mientras Kepler mantenía las dimensiones en su división (volúmenes en volúmenes, áreas en áreas) en *indivisibles*, Cavalieri descomponía, sin gran claridad, los volúmenes en áreas y éstas en líneas.

Los continuadores de Kepler y de Cavalieri entran ya en la moderna historia del Análisis, porque utilizaban los métodos infinitesimales sistemáticamente: eran los Newton, Leibniz, Bernoulli, etcétera.

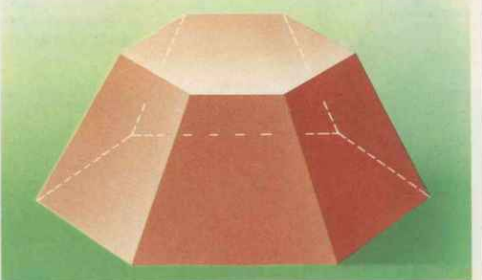
Véase **Análisis matemático; Convergencia; Geometrías; Integrales; Polígonos y poliedros**



Un prismatoide es un poliedro limitado por dos polígonos convexos (las bases) situados en planos paralelos y por caras laterales que son triángulos o trapecios. Una descomposición apropiada conduce para su volumen a la fórmula siguiente:

$$V = \frac{h}{6}(B_1 + B_2 + 4M),$$

donde h es la altura, B_1 y B_2 las áreas de las bases y M el área de la sección media.



En el caso de la pirámide, dicha fórmula se reduce a la fácil de obtener también por otros procedimientos:

$$V = \frac{h}{3}(B_1 + B_2 + \sqrt{B_1 \cdot B_2})$$

Argón y helio

En 1891 Ramsay y Rayleigh anunciaron el descubrimiento de un gas que había pasado desapercibido durante siglos debido a su inactividad química, y al que dieron el nombre de *argón*, de la palabra griega *argos* ("inerte", "inactivo").

Pronto surgió el problema de la ubicación del argón en la tabla períodica de los elementos publicada por Mendeleiev veinte años antes. Por ser mucho más inerte que el nitrógeno, que al menos aparece en la Naturaleza combinado consigo mismo (molécula biatómica) —la molécula del argón consta de un solo átomo—, se le asignó la valencia 0, y hubo que ampliar la tabla de clasificación con un nuevo grupo. Con el paso del tiempo se encontraron nuevos elementos de similares características —helio, neón, radón, xenón y criptón— que fueron engrosando este grupo y recibieron el nombre de *gases nobles*.

Tras este descubrimiento, Ramsay no cesó de buscar nuevos gases "extraños", y, apoyándose en los trabajos de Hillebrand sobre la uranita, encontró que las líneas espectrales del gas ocluido en la cleveita (un material muy parecido a la uranita) contenían la misteriosa raya amarilla hallada por Jansky y Lockyer en el espectro solar durante un eclipse, y que habían atribuido a un gas desconocido al que llamaron *helio*; como no es posible que los espectros de dos gases presenten el mismo número y distribución de líneas, Ramsay concluyó que aquel gas que acababa de aislar era el mismo que años antes se había encontrado en el espectro solar.

Formación del argón y del helio Pese a no haber sido detectada su existencia hasta finales del siglo XIX, el argón es muy abundante en la atmósfera, con un 0,9% del volumen total; aunque a gran distancia del nitrógeno y del oxígeno que ocupan el 99% del aire seco, supone una proporción muy considerable del resto de los gases atmosféricos. Las razones de su abundancia deben buscarse en su inercia química —que le impide combinarse con otros elementos e incluso consigo mismo— y en su elevado peso atómico (40) que hace que la fuerza de gravedad le confine a las primeras capas de la atmósfera, impidiendo su pérdida en el espacio.

Su principal fuente la constituye un isótopo del potasio de baja radiactividad que se desintegra de forma natural convirtiéndose en argón. En contraposición al argón, el helio es un gas tan ligero —sólo el hidrogeno pesa menos— que una pequeña proporción se escapa de forma continua hacia capas más altas de la atmósfera, venciendo la gravedad terrestre. Esta pérdida está compensada por la emisión de núcleos de helio liberados de la corteza terrestre (a un ritmo aproximado de 1 litro por km^2 al año) al desintegrarse ciertos elementos radiac-

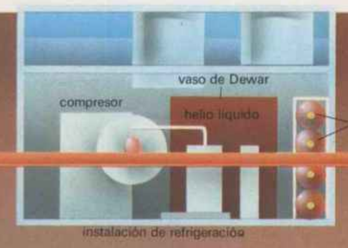
material radiactivo — radiaciones ionizantes β^- — átomo de argón — átomos de argón — placa negativa — filamento positivo (al amplificador y al contador Geiger-Müller) — contador Geiger-Müller

Una aplicación del argón se tiene en el contador Geiger (arriba a la derecha), aparato utilizado para determinar la radiactividad de una sustancia. Cuando una radiación ionizante, por ejemplo una partícula β, entra en el tubo del contador Geiger-Müller, que contiene argón, y colisiona con un átomo, éste emite un electrón y se transforma en un ion positivo; el electrón es atraído por el filamento positivo y el ion por la placa negativa. Los impulsos de corriente generados de esta forma son amplificados y se oyen como una sucesión de pitidos, más continuos cuanto mayor es la radiación a medir. En la soldadura al arco eléctrico (figura inferior), a menudo es necesario proteger la zona de soldadura de la oxidación creando sobre dicha zona una capa de *atmósfera inerte*. Con este fin se utiliza argón, por sus características de inercia química e incombustibilidad.

generador de corriente continua — argón — circulación del helio — mango del aparato — punto de soldadura

Abajo, esquema de una instalación para el transporte de electricidad con pérdidas muy reducidas, gracias al empleo de un cable superconductor. Este cable se mantiene a temperaturas muy bajas (−269 °C a −253 °C) haciendo circular helio líquido por su interior.

electricidad proveniente de la central eléctrica — aisladores — vaso de Dewar terminal



hilo superconductor — separador

ARGON	
propiedades	
número atómico	18
peso atómico	39,948
estado de oxidación	0
densidad (g/l) a 0 °C y 1 atm	1,7838
punto de ebullición (°C)	−185,72
temperatura crítica (°C)	122,14
presión crítica (atm)	48,34

HELIO	
propiedades	
número atómico	2
peso atómico	4,0026
densidad (g/l) a 0 °C y 1 atm	0,17846
densidad del líquido en el punto de ebullición	0,1249 g/dm³
punto de fusión a 25,2 atm	−272,1 °C
punto de ebullición a 1 atm	−268,9 °C
punto triple (sólido, helio I, helio II)	−271,37 °C

tivos de larga vida. Estos núcleos captan un electrón y se convierten en helio atmosférico. Industrialmente se obtiene tratando los minerales de uranio y torio, y primordialmente en la destilación del gas natural.

Poco abundante en la Tierra, el helio —resultado de las reacciones de fusión nuclear del hidrógeno que tienen lugar en el Sol y en las estrellas— ocupa, sin embargo, el segundo lugar en abundancia en el Universo después del hidrógeno (un 9% frente a un 90%).

Aplicaciones del argón y del helio El argón se produce industrialmente por destilación fraccionada del aire líquido en un proceso relativamente fácil y barato. Desde 1914, ha desplazado al nitrógeno en la fabricación de bombillas, aumentando la vida del filamento de tungsteno, que a altas temperaturas se evapora y se combina con los gases presentes en la bombilla; el argón no es sólo más inerte que el nitrógeno, que reaccionaba poco a poco con el tungsteno del filamento, sino que, debido a su alta densidad, evita la evaporación del mismo prolongando en consecuencia su duración.

También se emplea en la soldadura con arco para evitar el mismo problema que tiene lugar en el filamento de la bombilla; el metal a altas temperaturas, al combinarse con el oxígeno y el nitrógeno del aire, convierte la soldadura resultante en quebradiza; sin embargo, si al soldar se hace pasar una corriente de argón, éste evita la oxidación del metal y la unión se hace sólida. Este procedimiento se denomina "soldadura de arco".

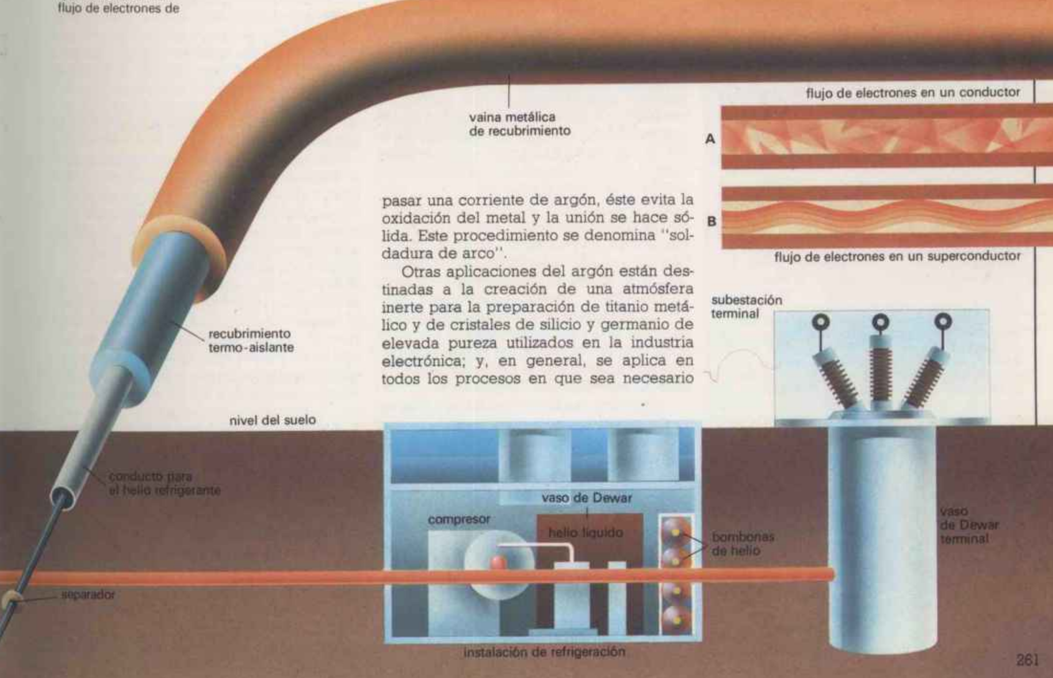
Otras aplicaciones del argón están destinadas a la creación de una atmósfera inerte para la preparación de titanio metálico y de cristales de silicio y germanio de elevada pureza utilizados en la industria electrónica; y, en general, se aplica en todos los procesos en que sea necesario evitar la formación de óxidos y nitruros que se producen en los metales a alta temperatura en contacto con el aire.

El helio, aunque más difícil de producir industrialmente, puede suplir al argón en todas sus aplicaciones. Su licuefacción supuso un gran avance para la ciencia; su punto de ebullición está 5 veces más próximo al cero absoluto que el del hidrógeno, y para mantener temperaturas ultrafrías es insustituible. Cualquier cuerpo en contacto con helio líquido no puede alcanzar temperaturas superiores a −269 °C. Este hecho dio origen al nacimiento de la *criogenia*, que estudia los fenómenos que tienen lugar a bajas temperaturas, como por ejemplo la *superconductividad* que presentan algunos materiales.

Un tipo de aire en el que el nitrógeno es sustituido por el helio es el utilizado por los submarinistas para disminuir la peligrosa formación de burbujas en la sangre durante el proceso de descompresión. Un aire de características similares se emplea en Medicina para facilitar la respiración en los procesos asmáticos.

Debido a su gran fuerza ascensional y estabilidad química, el helio se utiliza en sustitución del hidrógeno para el llenado de grandes globos con fines científicos.

Véase **Atomo; Gases nobles; Superconductor; Superfluido**



En 1911 el físico Heike Kamerlingh Onnes descubrió que algunos metales como el aluminio, el plomo y el estaño, al ser enfriados a temperaturas próximas al cero absoluto (−273 °C), no ofrecen apenas resistencia al flujo de electrones de la corriente eléctrica, convirtiéndose de esta forma en superconductores (esquemas A y B, a la derecha).

Aritmética

La *Aritmética* (del griego *arithmos*, número) es la parte de la Matemática que estudia los sucesivos conceptos y clases de números, sus propiedades teóricas, así como los correspondientes métodos prácticos de cálculo. Los griegos distinguían, en realidad, entre la *Aritmética*, que era más o menos su *Teoría de Números*, y la *Logística*, que era algo así como una Aritmética aplicada o técnica de cálculo. Dicha división ha recorrido buena parte de la Historia y, en cierto modo, subsiste hasta nuestros días.

Es frecuente citar a al-Joarizmi, a los traductores de Toledo y Sicilia, a los comerciantes mediterráneos y, por fin, a Fibonacci al referir la historia de la transmisión de los numerales indios a Europa. Menos se cita al monje Gerberto de Aurillac, profesor durante diez años en Reims, obispo luego de dicha ciudad y de la de Rávena y, al final de su vida, Papa Silvestre II (999-1003). Gerberto, famoso abaquista, conoció y propagó la notación decimal que aprendió en España durante su etapa de formación. Más concretamente, durante su permanencia hacia el año 967 en un convento catalán estudiando matemáticas y otras ciencias.

Entendida la anterior definición en forma extensiva, conduciría a considerar buena parte de la Matemática como Aritmética; sin embargo, el mismo proceso de división y especialización acaecido en otras ciencias ha sucedido en el caso de ésta. Algunos de sus aspectos más interesantes han sido absorbidos por disciplinas conexas, nacidas incluso en su seno o en su entorno, como el Algebra o el Análisis; otras, aun manteniéndose en el ámbito propio de la ciencia aritmética, han adquirido personalidad propia y casi son disciplinas autónomas, como la *Teoría de Números*.

De los cinco sucesivos conjuntos numéricos o sistemas de números reconocidos por la Matemática contemporánea —el de los naturales ($\mathbb{N}$), el de los enteros ($\mathbb{Z}$), el de los racionales ($\mathbb{Q}$), el de los reales ($\mathbb{R}$) y el de los complejos ($\mathbb{C}$)—, la Aritmética, según su definición etimológica, debiera ocuparse de todos; sin embargo, la práctica le ha sustraído el de los reales y el de los complejos en beneficio del Análisis. La razón, sin perjuicio de su posible discutibilidad, reside en que los números enteros y racionales son, de hecho, fácilmente reducibles a los naturales; puede incluso demostrarse que *hay* tantos números racionales como naturales (técnicamente: "que la potencia de $\mathbb{Q}$ y $\mathbb{N}$ es la misma", lo que quiere decir que puede establecerse una biyección entre ambos). Por el contrario, pasar de $\mathbb{Q}$ a $\mathbb{R}$ exige métodos que actualmente se estiman analíticos o, más precisamente, topológicos (el del *paso al límite* concretamente). Ello no obsta para que se siga llamando "Teorema Final de la Aritmética" al que asegura que "no hay más números que los complejos" (que contienen a los otros como casos particulares); es decir, que si se pretendiera inventar un nuevo conjunto que incluyese al de los complejos como uno de los subconjuntos y en el que se conservasen las llamadas "leyes formales de la Aritmética" (propiedades de las operaciones aritméticas usuales), dicho intento estaría condenado al fracaso; los nuevos entes dejarían de cumplir alguna de dichas leyes. Por ejemplo: no se puede dotar al espacio vectorial tridimensional de una suma y un producto con todas las propiedades de las correspondientes operaciones con números (lo que supone un grave inconveniente para la solución de muchos problemas fisicomatemáticos en el espacio).

Por otra parte, el Algebra, que empezó siendo una simple técnica de resolución de ecuaciones numéricas y continuó convirtiéndose en una Aritmética generalizada, que extendía las propiedades de las operaciones entre números a otros casos, acabó erigiéndose en la disciplina que estudia las estructuras fundamentales de carácter operativo, de tal modo que las de las operaciones aritméticas se han convertido de originarias en simples ejemplos.

Por último, las tradicionales técnicas algorítmicas han sido, según los casos, absorbidas por el moderno Cálculo Numérico, arrumbadas por el progreso informático o, simplemente, reducidas a saberes triviales de nivel escolar o alejadas del templo de las Matemáticas puras para alojarse en el de las financieras o artesanales.

No obstante, el proceso no es unidireccional. También hay un aspecto de dilatación y enriquecimiento. Así, por ejemplo, la parte más noble de la Aritmética, la Teoría de Números, que trata de las cuestiones más abstractas y difíciles en torno a la divisibilidad y a los números primos, a las ecuaciones en números enteros y a sus propiedades más profundas, que viene cultivándose desde los griegos y con muchos problemas irresueltos desde hace siglos, es un campo de actividad intenso que ha mostrado insospechadas relaciones con las partes más recónditas del Análisis Complejo y está recibiendo una importante ayuda del uso del ordenador.

A este último respecto conviene también reseñar que un tema especial de estudios aritméticos, el de los sistemas de numeración, ha sido revitalizado también por sus aplicaciones en los sistemas informáticos.

En último pero principal lugar está la cuestión relativa a la fundamentación del concepto de número (natural, se entiende, porque los demás se remiten a él, sea por vía finita, como los enteros y racionales, sea por paso al límite). Decía Kronecker al respecto que: "Dios creó el número natural, todo lo demás es obra del hombre". Pues bien, dicha cuestión parece seguir siendo la central de la Aritmética, sin perjuicio de su interés también para la Teoría de los Conjuntos o para la propia Filosofía de la Matemática.

Una ojeada a la Historia Los orígenes de las técnicas de numeración, la utilización de la decena (aunque también de otras bases) y los rudimentos del cálculo aritmético se encuentran en las más remotas y antiguas culturas. Egipto poseía un sistema de numeración decimal hablado y escrito, técnicas de cálculo para la multiplicación (a base de tabular los duplos, triplos, etc., y luego sumar los resultados según la descomposición del otro factor) y división. También usaban fracciones de numerador unidad. En el *Papiro Rhind* se han encontrado, entre otros resultados, tablas de duplicación.

Los babilonios tenían un nivel de conocimientos análogo, aunque superior en bastantes aspectos: por ejemplo, en las técnicas de numeración y en el manejo de fracciones. Los astrónomos babilonios, siglos antes de nuestra era, manejaban ya una notación para el cero.

Los griegos utilizaron dos sistemas de numeración, de base alfabética. A pesar de la incomodidad que ello pudiera suponer para el cálculo, consiguieron cierta habilidad en él. Recurrieron, como egipcios y babilonios, en muchos casos, a las técnicas de tabulación. Aún hoy los escolares conocen las "Tablas de Pitágoras".

A lo largo del Medievo se va produciendo la difusión de la numeración hindo-árabe y el uso de los algoritmos decimales basados en ella, que acaban imponiéndose entrada la Edad Moderna.

La que pudiéramos llamar Aritmética teórica ha ido desarrollándose más o menos en paralelo con los conocimientos de tipo práctico (sistemas hablados y escritos de numeración, reglas de cálculo, etc.), aunque, en este caso como en el resto de la Matemática, parece lógico señalar su naci-

miento en Grecia. Dejando de lado las propiedades místicas que los pitagóricos atribuyen a los números ("Todo es número") y que corresponde más a una concepción religiosa o filosófica —no muy alejada, salvando las distancias, de algunas actuales—, hay que reconocer conocimientos aritméticos importantes en ellos. No obstante, es en Euclides (c. 300 a. de C.) donde se encuentra una teoría ya avanzada; dedica varios libros de sus famosos *Elementos* a los temas aritméticos: en ellos se halla una buena caracterización de conjunto de los números naturales, una interesante teoría de la divisibilidad, el algoritmo de Euclides, un estudio de los números primos prácticamente coincidente con el que hoy se enseña en los cursos elementales, el manejo de fracciones, etc. El aritmético griego más conocido es, sin duda, Diofanto (c. 275 d. de C.), famoso por sus estudios sobre ecuaciones (aún hoy se llaman "ecuaciones diofánticas" las que se dan entre números enteros) y autor de una *Aritmética* conservada sólo parcialmente.

La Aritmética teórica no progresa grandemente en los tiempos medievales, y cuando resurge con fuerza en los siglos XVII y XVIII por obra de Fermat, Euler, Lagrange, etc., es ya lo que hoy denominamos *Teoría de Números*, algunos de cuyos problemas llevan siglos sin resolverse: por ejemplo, el de Fermat (1601-1665), relativo a la solución en números enteros de la ecuación $x^n + y^n = z^n$ (con $n > 2$), que él aseguró haber demostrado ser imposible. Este resultado ha provocado un trabajo matemático inmenso a lo largo de tres siglos, que ha dado origen a nuevos conceptos y teorías junto a un avance importante pero no definitivo en su demostración. Ya en el siglo XIX se da la aportación de figuras como Legendre y, sobre todo, Gauss (1777-1855), quien en 1801 publica una obra que sienta en muchos aspectos las bases de la Aritmética y otros capítulos de la Matemática moderna: *Disquisitione arithmeticae*. En dicha obra, el que ha sido llamado "príncipe de los matemáticos" configura la Aritmética (si se prefiere, la Teoría de Números) como la "reina de las Matemáticas".

Los siglos XIX y XX conocen un amplio desarrollo de la Aritmética, en conexión muchas veces con el Algebra y el Análisis, hasta presentar su espléndida realidad actual.

La cuestión fundamental: ¿Qué es el número? En la anterior exposición, al igual que la Humanidad a lo largo de la mayor parte de su historia, se ha adoptado una postura ingenua o intuitiva sobre el concepto de número natural: la de dar por supuesto su existencia y por evidentes sus propiedades elementales y centrar el interés en el descubrimiento o deducción de propiedades más avanzadas, técnicas de cálculo o sistemas de representación. Sin embargo, por su importancia filosófica y científica y por su repercusión práctica, la necesidad de fundamentar sobre bases firmes el concepto de número natural es evidente, ya que sobre él descansa prácticamente la totalidad del edificio matemático. Por ello este último siglo vio el desarrollo de importantes investigaciones en torno a la cuestión, que naturalmente enlazan la Aritmética con la Lógica y la Teoría de Conjuntos.

Conviene, antes de dar una sumaria y muy simple versión de las citadas investigaciones, avisar que la respuesta que la Matemática y la Lógica modernas dan a la pregunta "¿Qué es el número?" no tiene un valor, por llamarle de alguna forma, *metafísico*. Lejos de buscar el ser último del número (lo que resulta vana quimera), se trata no más, pero tampoco menos, que de establecer un conjunto de axiomas que sienten de forma inequívoca, y, por supuesto, exenta de contradicciones, el comportamiento de lo que se viene llamando *número*. O, en otra aproximación, la reducción de dicho concepto a otros más aprehensibles e inmediatos. Este segundo método es el llamado *cardinal*, en la línea de pensamiento de Cantor, Dedekind y Frege. El primero, *ordinal*, o también *axiomático*, es el de Peano.

Peano (1857-1932) fue un lógico y matemático italiano que en su obra *Arithmetices Principia* ("Los principios de la Aritmética"), de 1889, estableció un conjunto de axiomas que *definen* el conjunto $\mathbb{N}$ de todos los números naturales, salvo isomorfismos (es decir, salvo diferencias en cuestión de nombre o símbolo). Dichos axiomas son los siguientes:

- *1 es un número natural*;
- *todo número natural tiene un siguiente del que él es el precedente*;
- *1 no tiene precedente*;
- *dos números naturales si tienen el mismo siguiente son iguales*;
- *todo conjunto de números naturales que contenga a 1 y al siguiente de cada uno de sus miembros coincide con* $\mathbb{N}$.

(En realidad, los axiomas de Peano eran nueve, porque entre ellos incluyó cuatro propiedades de tipo general sobre la igualdad).

Por el contrario, el matemático alemán Frege (1848-1925), en su obra de 1884 *Die Grundlagen der Arithmetik* ("Los Fundamentos de la Aritmética"), utiliza las técnicas propias de la teoría de conjuntos *cantoriana*. Frege edifica el concepto de número sobre el de *cardinal* de un conjunto. Se dice que dos conjuntos, finitos o infinitos, tienen el mismo *cardinal* o la misma *potencia* o que son *equipotentes* cuando puede establecerse entre ellos una biyección; ello permite identificar el cardinal de un conjunto con la clase de todos los conjuntos semejantes entre sí; en términos un tanto exotéricos: *el cardinal de una clase dada es la clase de todas las clases semejantes a la clase dada* (donde *clase* significa *conjunto* o *familia de conjuntos*, según convenga, y *semejantes* quiere decir *equipotentes*).

Véase **Algebra; Números; Sistemas de numeración; Teoría de Conjuntos; Teoría de Números**

Números babilonios (del 1 al 9)

Chinos (del 1 al 10)

一 二 三 四 五 六 七 八 九 十

Hindúes (del 1 al 10)

Mayas (del 0 al 19)

= "cero" • = "uno" —— = "cinco"

Egipcios (del 1 al 10)

Griegos antiguos (del 1 al 10)

Α Β Γ Δ Ε Ξ Η Θ Ι Κ

Griegos posteriores (del 1 al 10)

Α Β Γ Δ Ε F Ζ Η Θ

Arabes (del 1 al 10)

١ ٢ ٣ ٤ ٥ ٦ ٧ ٨ ٩ ٠

Europeos (España, año 976)

Siglo XVI (Durero)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

En la figura se reproducen símbolos numéricos correspondientes a distintas culturas y a distintas épocas históricas. En particular, resulta interesante examinar la evolución de las primitivas cifras hindúes hasta las propias de la Europa moderna.

Armas nucleares

En el Museo Atómico Nacional de Albuquerque, Nuevo Méjico, un amplio espacio oscurecido, semejante a un hangar para aviones, contiene reproducciones de armas nucleares. En una parte, delimitada por vallas hacia el centro de la sala, se encuentran las reproducciones color verde aceituna de *Little Boy* y de *Fat Man*, las únicas armas nucleares utilizadas hasta la fecha contra objetivos humanos. *Little Boy* explosionó sobre la ciudad japonesa de Hiroshima el 6 de agosto de 1945. *Fat Man* arrasó Nagasaki tres días después. Pero estas armas son muy primitivas en comparación con las actuales. Se han experimentado bombas 4.000 veces más potentes. Además, se han hecho experiencias con bombas de neutrones cuya potencia destructiva es debida no a la explosión sino a breves oleadas de radiaciones de alta energía. Estas armas utilizan bombas de las dimensiones de *Little Boy* o de *Fat Man* simplemente como detonadores.

Las armas nucleares son artefactos capaces de liberar la energía contenida en los núcleos atómicos. Esta energía puede ser liberada, por ejemplo, cuando un núcleo de uranio se fracciona en partes más pequeñas en un proceso llamado *fisión*. Aquella puede liberarse también cuando dos núcleos ligeros entrechocan formando uno más pesado en un proceso llamado *fusión*. Para que esto suceda, es necesario que un núcleo de hidrógeno se "empequeñezca" un poco; o sea, que debe transformar parte de su masa en energía, según la fórmula de Einstein $E = mc^2$ —la cantidad de energía producida es igual al producto de la masa perdida por el núcleo por el cuadrado de la velocidad de la luz—. Estos dos procesos corresponden a los dos tipos fundamentales de armas nucleares: las *bombas de fisión* y las *bombas de fusión termonucleares* (o *bombas de hidrógeno*). La expresión *bomba atómica* designa el modo en que la energía se libera en esos procesos y, a grandes rasgos, el principio de funcionamiento de una bomba de fisión. Pero en este artículo nos acupamos sólo de las mucho más potentes bombas de fusión termonuclear.

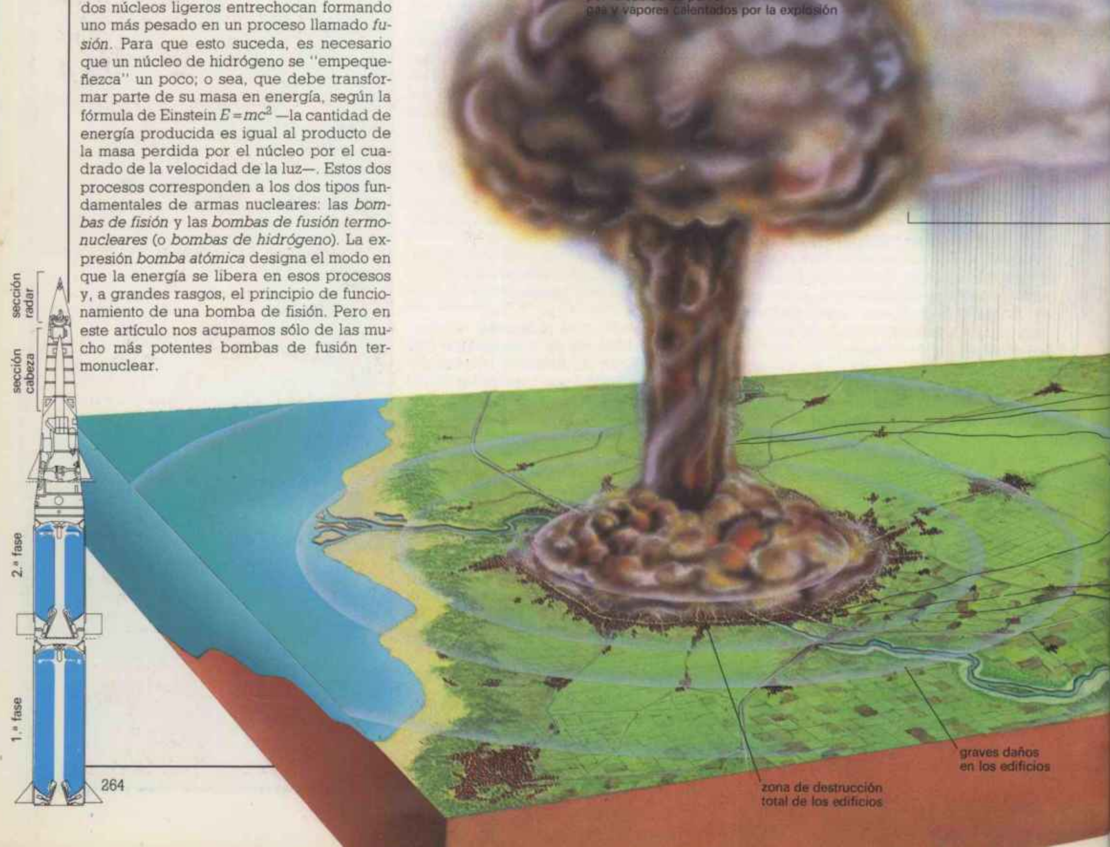
Bombas de hidrógeno Una bomba de hidrógeno está constituida por tres partes fundamentales: un detonador, un tubo que contiene el combustible para la fusión y un contenedor cilíndrico en forma de ojiva.

El *detonador* proporciona el enorme calor y la enorme presión necesarios para hacer chocar los átomos de hidrógeno unos contra otros, de modo que formen átomos de helio. La única fuerza conocida que puede producir la energía suficiente es la provocada por la explosión de una bomba de fisión; ésta tiene un diámetro de unos 30 cm y se coloca en el "morro" del contenedor.

El tubo en forma de lapicero que contiene el combustible para la fusión se extiende desde uno a otro extremo, pero no completamente, sino hasta el morro en que se encuentra la bomba de fisión. El *combustible* para la fusión debería estar constituido inicialmente por tritio, un isótopo del hidrógeno, pero como es costoso y difícil de manejar se utiliza el litio, que se transforma en tritio al iniciarse la fusión.

El *contenedor* se fabrica de uranio, funcionando primero como reflector y después como combustible. Cuando se hace explosionar la bomba de fisión, el contenedor refleja la energía de la explosión, denominada *presión de radiación*, a lo largo del tubo que lleva el combustible, lanzando este último hacia adelante por todas partes. Cuan-

Abajo, a la izquierda, el misil balístico *Pershing II*, de los Estados Unidos, de combustible sólido y guía terminal, con un radio de acción de 1.500 kilómetros. La clásica imagen del "hongo" subsiguiente a una explosión nuclear se refiere a una fase muy avanzada respecto a la verdadera explosión. En esta imagen, la explosión ha sobrevenido a aproximadamente un tercio de la altura de la columna de fuego que se eleva del suelo, poco más o menos un minuto o dos antes del instante a que el dibujo hace referencia. A los pocos segundos de la explosión se desarrolla la llamada "esfera de fuego" que, con su rápida dilatación, ha provocado las destrucciones por onda de choque y, con el calor irradiado, ha producido incendios. El calor de la misma



do los átomos de tritio se fusionan entre sí, liberan energía y generan un intenso flujo de neutrones. Estos neutrones chocan con el contenedor de uranio y producen la fisión de sus átomos. De esta forma se incrementa la fuerza de la explosión y se producen escorias radiactivas con el consiguiente *fallout*, o recaída.

Las armas de radiación intensificada (o ERW, *enhanced-radiation weapon*), o bombas de neutrones, son un tipo particular de bombas cuyo contenedor está constituido por metales distintos del uranio. Estos metales consienten el flujo sin dificultad de los mortales neutrones de alta energía, que pueden atravesar el hierro o el acero de los carros de combate y edificios sin producir escorias radiactivas.

Sistemas de lanzamiento La eficacia de las armas nucleares depende en gran parte del modo en que se las hace explosionar. *Little Boy* y *Fat Man* fueron lanzadas desde aviones, pero hoy han alcanzado dimensiones lo bastante reducidas como para poder ser transportadas por torpedos y por proyectiles. Los sistemas de lanzamiento más sofisticados hacen sin embargo uso de vectores constituidos por misiles balísticos. Estos están dotados con sistemas de guiado computerizado que les permite sobrevolar continentes enteros en el lapso de pocos minutos y explosionar la carga sobre el blanco con una precisión de algunos centenares de metros.

Los vehículos de reentrada múltiple contra objetivos independientes (MIRV, *multiple indepently-targetable re-entry vehicle*) llevan varias armas nucleares, cada una de las cuales puede ser programada para un objetivo diferente. Los misiles *Cruise* son aeromóviles en condiciones de volar a baja cota manteniendo la ruta preestablecida con gran precisión: escogen la ruta automáticamente de acuerdo con las características del terreno que sobrevuelan.

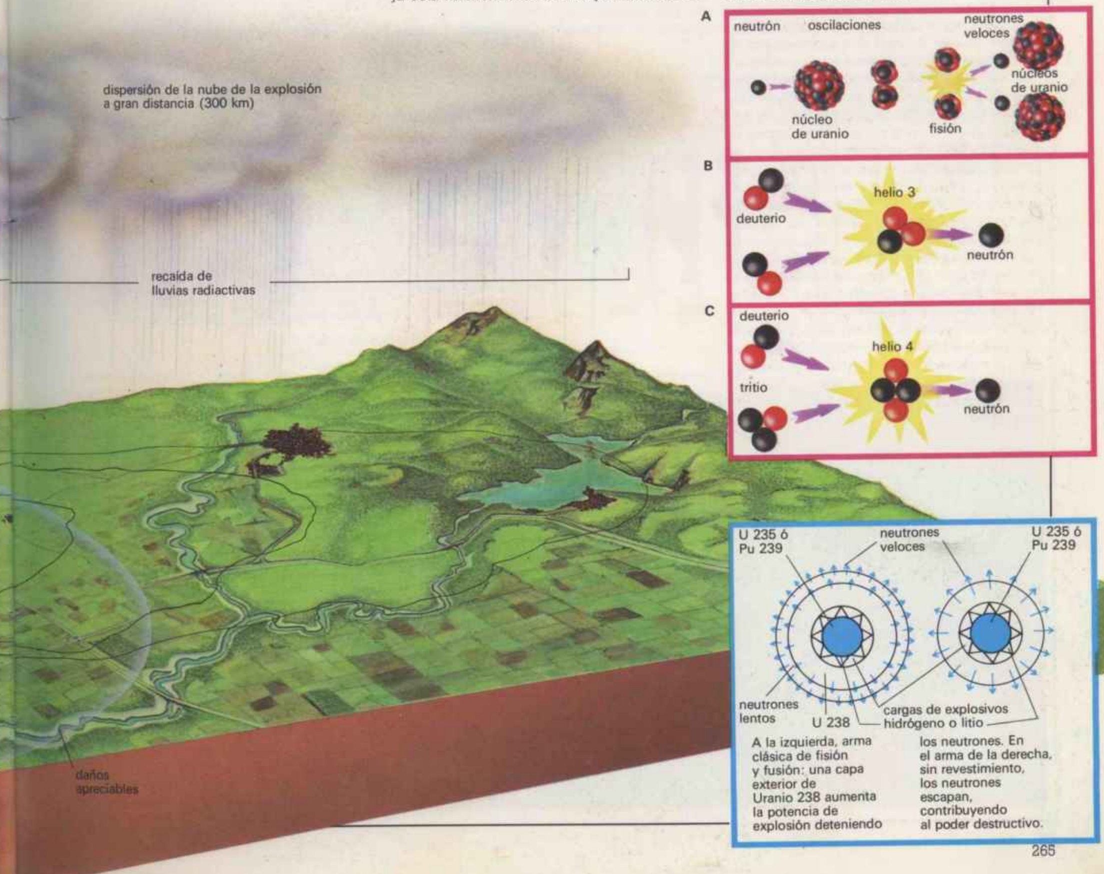
Efectos La potencia explosiva de un arma nuclear se mide por el número de toneladas de trinitrotolueno (nitroglicerina, TNT) que podría producir igual destrucción. El efecto de las bombas de fisión se mide generalmente en kilotones (millares de toneladas de TNT); el efecto de las bombas de fusión se mide en cambio en millones de toneladas de TNT (megatones).

La potencia explosiva, sin embargo, es sólo una de las causas de los efectos destructores de estas armas. Otra es la constituida por el calor desprendido; sus mortales radiaciones abrasan los organismos vivientes e incendian las estructuras combustibles. En fin, según el material de que esté hecha la bomba, pueden liberarse al ambiente radiaciones ionizantes con efectos letales en un determinado radio de acción. Estos se difunden también sobre amplias áreas no afectadas directamente por los efectos explosivos de la propia bomba.

Véase Bomba atómica; Misil

esfera ha calentado el aire y con el rebufo de aquélla sobre el suelo levanta una nube hasta la estratosfera. Alrededor del área de la explosión tienen lugar los diversos tipos de destrucción.

A la derecha: A, reacción de fisión rápida; B, fusión directa del hidrógeno; C, fusión del hidrógeno pesado y del tritio, utilizados en las bombas.



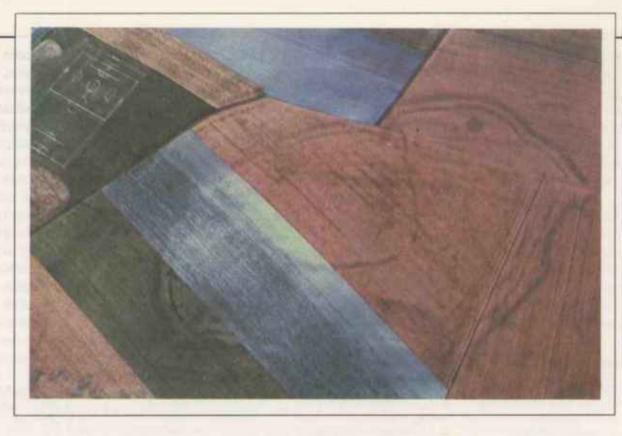
A la izquierda, arma clásica de fisión y fusión: una capa exterior de Uranio 238 aumenta la potencia de explosión deteniendo los neutrones. En el arma de la derecha, sin revestimiento, los neutrones escapan, contribuyendo al poder destructivo.

Arqueología

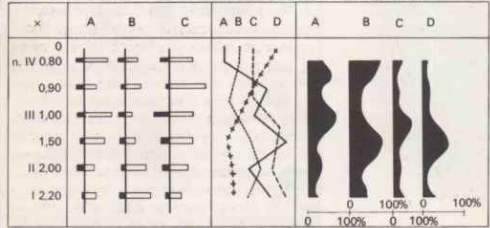
Se entiende por Arqueología la ciencia que estudia el pasado del hombre a través de sus vestigios materiales, considerados éstos en su más amplio significado: desde unas simples cerámicas para cocinar o las cerámicas áticas de Figuras Rojas hasta las porcelanas de la fábrica del Buen Retiro; desde unos punzones o agujas de coser magdalenienses hasta las cuberterías de plata de las colecciones reales; desde los ajuares de las tumbas ibéricas, las catacumbas romanas o las necrópolis medievales, hasta un cementerio de coches actual.

El término *Arqueología* viene del griego: *Archaia*, "antigua", y *logos*, "ciencia". El descubrimiento, documentación, estudio, restauración y conservación de todos los restos materiales es el objeto de la Arqueología, permitiendo así la reconstrucción del pasado de la Humanidad.

El método arqueológico, es decir, el procedimiento científico para conocer el pasado, se puede dividir en dos fases: el trabajo de campo y el trabajo de laboratorio. Aquél se centra en la excavación de los yacimientos descubiertos, tanto casualmente como mediante técnicas especiales de localización. Este, en la conservación, restauración, datación y documentación de los materiales obtenidos durante la excavación. También, y gracias a una labor metódica, en estos trabajos pueden extraerse una serie de datos complementarios, como es, por ejemplo, la estratigrafía del yacimiento. A continuación, quedaría el momento más delicado e importante para un arqueólogo: la valoración cultural e histórica de toda la documentación obtenida, proyectándola después en la Historia general.



DIAGRAMAS POLINICOS A DISTINTAS PROFUNDIDADES



Uno de los problemas con que se enfrenta el arqueólogo es la localización de los yacimientos. Para ello resulta de gran ayuda la fotografía aérea. Las "señales" que el suelo y la vegetación ofrecen son diferentes en razón de la presencia o no bajo ellos de "agentes" extraños: un muro, un pavimento, etcétera. La fotografía aérea, con su especial perspectiva, capta estas alteraciones.

La fotografía superior muestra la presencia de un yacimiento neolítico (Saintes, Francia). Actualmente las excavaciones se han transformado en una verdadera labor metódica y científica encaminada a obtener el máximo de información, donde no que da lugar a la improvisación. La topografía del yacimiento, su cuadriculación en áreas determinadas, su fotografía y el dibujo de los materiales son labores obligadas para el arqueólogo. En la fotografía inferior puede observarse la aplicación del método van Giffen a un yacimiento tumular en Los Villares (Albacete, España). El diagrama de la izquierda presenta los resultados de las muestras polínicas recogidas a diferentes profundidades en un yacimiento.



J. Blánquez

Trabajo de campo En el verano de 1879, Marcelino Sanz de Sautuola, acompañado de su hija María, descubría casualmente en una cueva del prado de Altamira lo que, según Salomón Reinach, sería "la capilla Sixtina del arte cuaternario": las pinturas paleolíticas de la Cueva de Altamira, en Santillana del Mar. Pero, aunque es cierto que el azar ha sido un factor importante en algunos de los más famosos descubrimientos, el conocimiento de los yacimientos arqueológicos no depende, la mayoría de las veces, de hallazgos casuales. El desarrollo de una serie de técnicas científicas ha facilitado al arqueólogo la búsqueda y localización de los yacimientos. Así, la labor de prospección ha pasado a ser algo metódico y ordenado, con un amplio margen de seguridad. A continuación analizaremos sus principales técnicas, al margen de la prospección directa a realizar en la zona hablando con las gentes o recorriendo el terreno:

• La *fotografía aérea* se ha desarrollado extraordinariamente gracias a los avances de la aviación de reconocimiento durante las dos guerras mundiales y en el período

posterior a 1945, en el que las necesidades de estrategia y de control militar así lo imponían. El origen de su aplicación en prospecciones arqueológicas está en una conocida anécdota acaecida durante la I Guerra Mundial: los aliados no sabían cómo interpretar unas extrañas manchas y elevaciones del terreno que ofrecían las fotografías realizadas por sus aviones para localizar las baterías turcas. Finalizada la guerra y realizadas excavaciones, se vio que se trataba de construcciones de culturas antiguas.

La fotografía aérea, tomada desde la altura idónea y con la perspectiva y a las horas adecuadas, documenta en la superficie del terreno las transformaciones producidas en el suelo por el hombre y sus actividades.

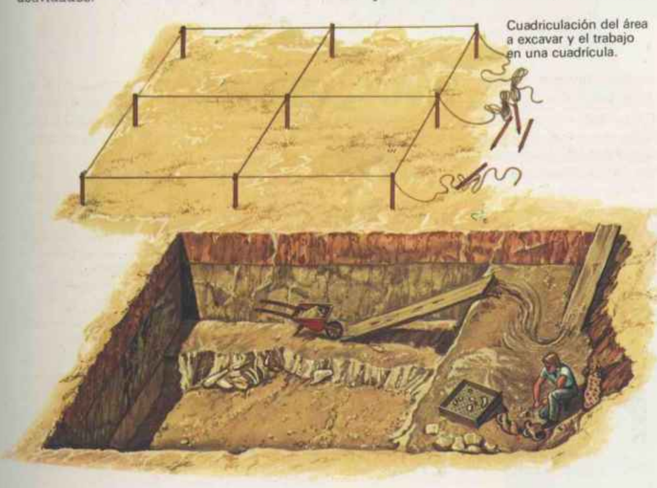
Las variaciones de color en el suelo, la mayor o menor concentración vegetal en los sembrados, las sombras que proyectan las elevaciones del terreno a la salida y puesta del sol son "reflejos" que ofrece el terreno de su interior a la observación del arqueólogo. Actualmente esta técnica está muy desarrollada: la fotografía "en relieve" mediante pares estereoscópicos, el levantamiento topográfico del yacimiento a partir de la fotografía aérea, las fotografías con película de infrarrojos, etc., son posibilidades de las que dispone el arqueólogo para su tarea de prospección y documentación.

• Los *métodos electromagnéticos* de prospección están basados en la resistencia que ofrece el suelo al paso de una corriente eléctrica. Las alteraciones de esta resistencia según distintos elementos del sustrato: tierra, piedras (muro), metales (ajuares), etc., son interpretadas por aparatos adecuados y reflejadas en sus correspondientes diagramas.

Como ocurre en otras muchas ocasiones, se trata de técnicas anteriormente experimentadas y aplicadas también para fines no arqueológicos. Así, por ejemplo, la prospección magnética se emplea en la localización de hidrocarburos y se basa en la alteración-medición de la intensidad del campo magnético. La prospección eléctrica, realizada mediante un potenciómetro y sus correspondientes electrodos clavados en el terreno, registra las diferentes zonas de resistencia: alta para los muros, baja para los fosos y oquedades, etcétera.

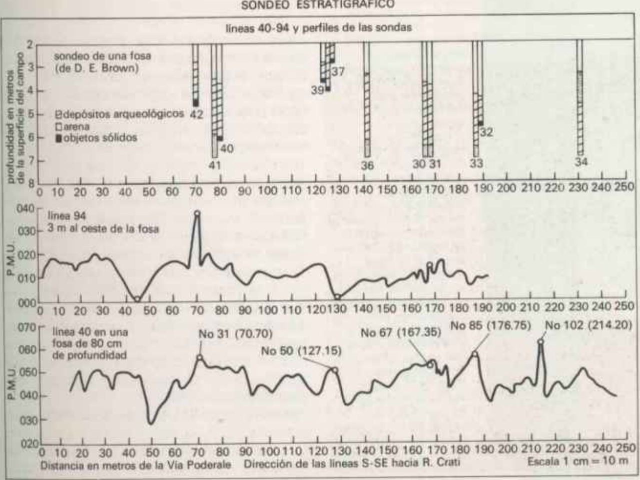
Para la resolución de problemas muy concretos surgidos en algunos yacimientos, la Arqueología ha llegado a coordinar diferentes sistemas e idear otros nuevos. Un claro exponente de ello es el sistema desarrollado por el ingeniero Carlo Mauricio Lerici, aplicado a las cámaras funerarias etruscas. Se realiza una perforación puntual, semejante a la de los yacimientos petrolíferos, por la que se introduce un periscopio (diseñado por Nistri y basado en los utilizados por los submarinos), de forma que puede "verse" el contenido de las tumbas. Así, únicamente se procede a la excavación de las cámaras funerarias que presentan un especial interés, bien por estar intactas, bien por sus pinturas murales, etcétera.

En cuanto a la *Arqueología submarina*, una de las últimas modalidades de la ciencia arqueológica, presenta enormes posibilidades de investigación. Hasta la gran aportación del científico francés Jacques Yves Cousteau, con el invento de la escafandra autónoma, todos los trabajos eran realizados por buzos profesionales con los clásicos trajes y pesados equipos: pies de plomo, trajes al vacío, conexión directa con la superficie para la toma de aire. Ello impedía la necesaria movilidad y ligereza que el trabajo arqueológico submarino requiere. El equipo autónomo ha hecho posible que sean los propios arqueólogos quienes efectúen directamente los trabajos de excavación con una calidad y exigencia similares a las de los efectuados en tierra. Cámaras y vídeos submarinos, papeles, lápices, brújulas y teodolitos especialmente preparados permiten documentar adecuadamente los yacimientos submarinos. Así, pueden conocerse mejor aspectos históricos tan importantes como el tráfico marino, puertos y fondeaderos, etcétera.



Cuadriculación del área a excavar y el trabajo en una cuadrícula.

El proceso de una excavación debe ser lento y minucioso. Además de la recogida y documentación de los materiales obtenidos, el arqueólogo debe realizar otra serie de trabajos paralelos.



El gráfico a la izquierda de estas líneas recoge las anomalías magnéticas producidas por un muro enterrado en Sibari (Italia meridional) y los resultados de los sondeos estratigráficos.

Cada yacimiento requiere unos métodos específicos de excavación, por lo que se puede decir que hay tantos métodos como yacimientos. Algunos de ellos son ya clásicos y llevan los nombres de sus creadores: el método Wheeler, el método van Giffen para excavaciones de túmulos, etc. De todas formas, todos tienden a obtener el máximo de datos posible, pues la labor de documentación gráfica y fotográfica, la ordenación y cuidado en la extracción de los materiales y la anotación cuidadosa de todos los detalles son básicos para el posterior trabajo de laboratorio.

Trabajo de laboratorio Esta fase comprende los trabajos de conservación y restauración, y el estudio tipológico y morfológico del material obtenido y su datación.

Una datación correcta es fundamental, pues permite al arqueólogo encuadrar en "su tiempo" una determinada actividad humana o unos materiales concretos. Dada su importancia, no debe extrañar que sean empleadas numerosas técnicas o ciencias auxiliares con el fin de aproximar al máximo una cronología.

RECONSTRUCCION GRAFICA DE UN YACIMIENTO, OBTENIDA CON EL METODO DE CUADRICULACION

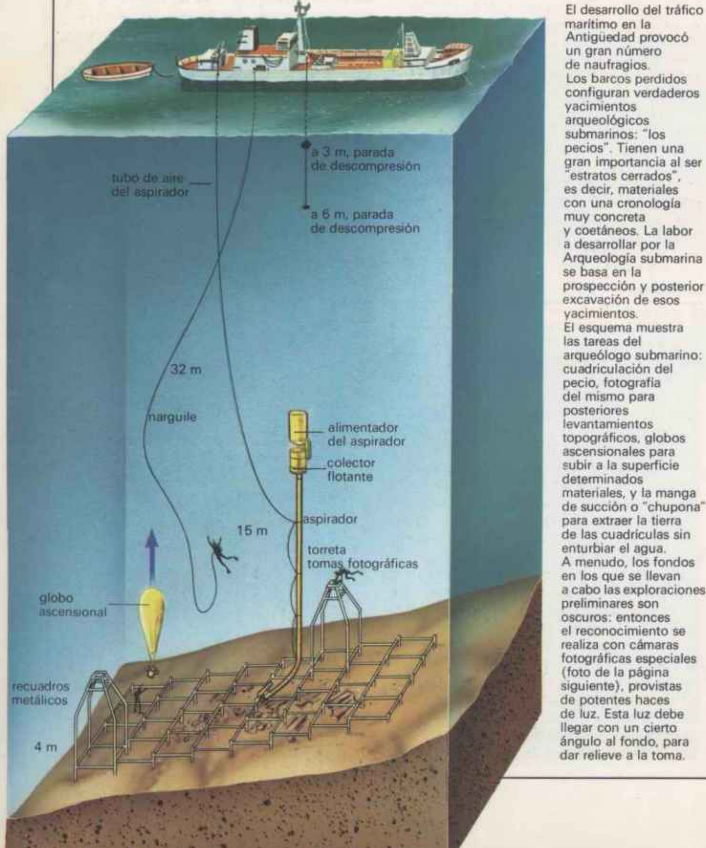
La cronología de un yacimiento o de unos materiales puede determinarse por diferentes procedimientos. Particularmente para la Prehistoria y Protohistoria, períodos en los que la documentación es escasa, la ayuda de ciencias auxiliares o métodos científicos es casi imprescindible.

Al datar cualquier tipo de yacimiento u objeto pueden establecerse tres "tipos de cronologías": una cronología absoluta, una cronología relativa y una cronología comparada. La primera es la obtenida mediante la aplicación de análisis concretos de técnicas especializadas. Esta modalidad ha alcanzado gran importancia en los últimos años gracias a los avances técnicos. La segunda consiste en la datación de unos materiales con respecto a otros del mismo yacimiento, ya que, siempre que no haya una alteración anómala, los objetos encontrados en estratos o niveles inferiores son anteriores a los encontrados en las capas superiores. En cuanto a la cronología comparada, quizá la más sencilla de todas, consiste en datar un elemento aislado basándose en otro de características semejantes del que se conoce previamente su cronología absoluta.

No obstante, estos métodos de trabajo —elaboración de estratigrafías y aplicación de una cronología comparada o relativa— no son totalmente exactos ni objetivos. Por un lado, la utilización de tipologías como modo de acercamiento a la datación debe de emplearse con prudencia. No hay que olvidar que paralelos formales no implican por fuerza paralelos culturales. Además, los objetos que tengan una determinada tipología no siempre deberán ordenarse de menor a mayor perfección técnica. Las culturas, a lo largo de la Historia, sufren retrocesos. Además, por otro lado, una estratigrafía puede estar alterada por muy diversos motivos, tanto naturales como provocados por la mano del hombre: inundaciones, movimientos sísmicos, repoblaciones forestales, etcétera.

Son numerosos los métodos científicos encaminados a proporcionar dataciones absolutas. Los más conocidos son: la *dendrocronología*, la *termoluminiscencia* y el *carbono 14*.

La utilización de la *dendrocronología*, es decir, el estudio de los anillos de creci-



El desarrollo del tráfico marítimo en la Antigüedad provocó un gran número de naufragios. Los barcos perdidos configuran verdaderos yacimientos arqueológicos submarinos: "los pecios". Tienen una gran importancia al ser "estratos cerrados", es decir, materiales con una cronología muy concreta y coetáneos. La labor a desarrollar por la Arqueología submarina se basa en la prospección y posterior excavación de esos yacimientos. El esquema muestra las tareas del arqueólogo submarino: cuadriculación del pecio, fotografía del mismo para posteriores levantamientos topográficos, globos ascensionales para subir a la superficie determinados materiales, y la manga de succión o "chupona" para extraer la tierra de las cuadrículas sin enturbiar el agua. A menudo, los fondos en los que se llevan a cabo las exploraciones preliminares son oscuros: entonces el reconocimiento se realiza con cámaras fotográficas especiales (foto de la página siguiente), provistas de potentes haces de luz. Esta luz debe llegar con un cierto ángulo al fondo, para dar relieve a la toma.

miento de los árboles como sistema de medición del tiempo, se remonta a 190Í, con los trabajos de A. E. Douglass. Este investigador comenzó estudiando los anillos de los árboles en relación con los ciclos de las manchas solares. Posteriormente, vio la utilidad de aplicar sus experiencias a la Arqueología. Y durante una década estudió los anillos de las vigas de madera utilizadas en la construcción de una serie de poblados del Sudeste americano. Hacia 1929 la dendrocronología había adquirido ya carta de naturaleza. El estudio dendrocronológico se basa en que cada año el árbol desarrolla uno o varios anillos —según las especies— de manera que las características de los mismos: grosor, tonalidad, etc., constituyen una respuesta al medio climático que ha imperado durante ese tiempo. La dendrocronología tiene, pues, una doble utilidad que la Arqueología aprovecha indistintamente: puede proporcionar dataciones absolutas y es un indicador del paleoclima. Partiendo de un tronco de fecha conocida, puede enlazarse un tronco con otro hasta conseguir una secuencia cronológica lo más larga posible. Uno de los árboles más antiguos con datación conocida es una variante del pino —el *pinus longaevita*— de California, con 4.900 años. En la actualidad, y mediante el método dendrocronológico, los arqueólogos han podido remontarse al año 6.200 antes de Cristo.

La técnica de la *termoluminiscencia* es de gran importancia al aplicarse a las cerámicas, verdadero "guía-fósil" del arqueólogo. Todas las cerámicas tienen una serie de impurezas (uranio y torio) en concentraciones muy escasas. Dichos materiales emiten una serie de partículas alfa a un ritmo conocido. Estas partículas, en contacto con los minerales de las cerámicas, se ionizan, por lo que sus electrones tienden a estabilizarse en estados metaestables de energía más elevada. Durante la cocción que toda cerámica experimenta, los electrones tienden a quedar liberados y, por consiguiente, los estados metaestables quedarán vacíos. Desde ese momento tenderán a captar de nuevo partículas alfa. Cuanto más tiempo pase, mayor será el relleno, y, por tanto, su termoluminiscencia (emisión de radiaciones por calentamiento). Para obtener datos cronológicos mediante esta técnica hay, pues, que realizar tres mediciones distintas: la producción de luz en el momento de calentarse, la radiactividad-alfa de la pieza, y, por último, la susceptibilidad de la pieza a producir termoluminiscencia mediante la radiación de una fuente radiactiva conocida.

La datación mediante *carbono 14* se basa en el hecho de que toda materia orgánica (es decir, materia constituida por moléculas basadas en la estructura del carbono) es radiactiva hasta un cierto límite. Cuando los rayos cósmicos calientan la atmósfera terrestre, producen neutrones que reaccionan con los átomos de nitrógeno del aire, formando cantidades mínimas de carbono radiactivo o carbono 14. El carbono 14 forma un enlace químico con el oxígeno y alcanza la Tierra en forma de dióxido de carbono, que es absorbido por las plantas y transformado en fuente de alimento gracias al proceso de la fotosíntesis. La consecuencia es que, cuando los animales o el hombre se nutren de vegetales, una parte del carbono asimilado por el organismo es carbono 14. Todas las sustancias radiactivas se desintegran en períodos de tiempo constantes, y el intervalo de tiempo que transcurre hasta que se desintegra la mitad de una sustancia radiactiva se llama "período de reducción a la mitad". Esta desintegración no tiene lugar mientras la planta vive por la continua absorción de una cantidad siempre mayor de dióxido de carbono; pero cuando la planta muere, la cantidad residual de carbono 14 puexde ser medida con un contador Geiger, y así se puede determinar la fecha de la muerte de un ser vivo. Midiendo la cantidad de carbono 14 presente en los huesos, en la madera o en las cenizas, y comparándola después con la existente en la materia orgánica todavía viva, se puede determinar la edad de objetos con más de 50.000 años de antigüedad.


J. Blánquez

La labor en equipo es imprescindible a la hora de excavar bien un yacimiento. Los trabajos de topografía, la ampliación de nuevas áreas, la recogida de cotas de profundidad corren paralelos a los trabajos individualizados. Dibujantes, fotógrafos, topógrafos, restauradores y arqueólogos aúnan sus conocimientos en un empeño común: reconstruir el pasado de la Humanidad.

La *interpretación* de los datos obtenidos, fase crucial del estudio arqueológico, permite la reconstrucción global de culturas del pasado y de su evolución histórica. En este punto, la interdisciplinariedad se hace esencial para el conocimiento del medio físico en que se desarrollaron dichas culturas, de sus modos de vida y organización, para la captación del universo espiritual, etc. A modo de ejemplo, en una investigación globalizadora de Arqueología prehistórica concurren conocimientos de ciencias naturales y sociales, a saber: geología, estratigrafía, tipología estratigráfica, paleobotánica, paleozoología, paleoantropología, paleontología, paleoetnología, sociología, arte, etcétera.

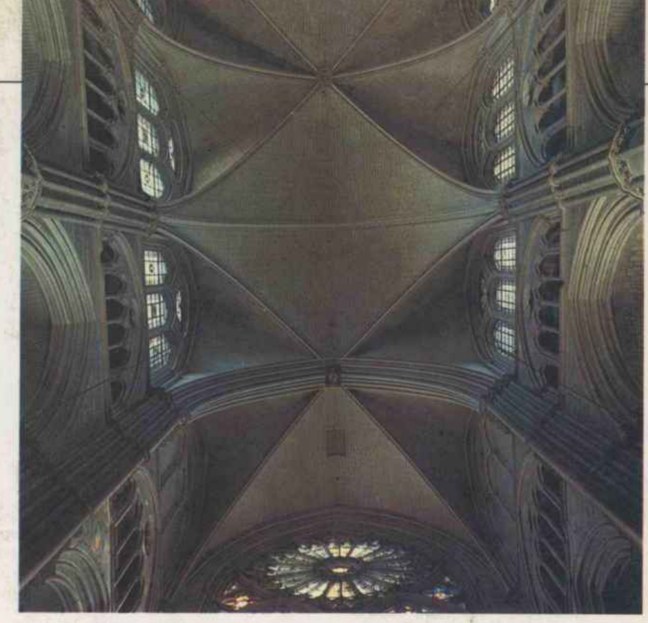
Por último, la *conservación* y *restauración* permiten, por un lado, preservar materiales perecederos (madera, cuero, tejidos) de los procesos de oxidación y de los daños causados por la humedad, y, por otro, reconstruir, a partir de testimonios fragmentarios, un determinado hallazgo.

De todo lo expuesto se deduce que aunque la Arqueología cumple una tarea fundamental en el conocimiento de los períodos prehistóricos, también lo hace para épocas más cercanas en que existe una mayor abundancia de documentos. De aquí la existencia de una Arqueología antigua y de una Arqueología medieval perfectamente caracterizadas, inmersas en el estudio de restos materiales preferentemente artísticos. En estos casos, lógicamente, el análisis e interpretación han de tener en cuenta un variado repertorio de fuentes y técnicas de trabajo, propias del estudio de esos períodos históricos.

Véase **Datación por carbono 14**


G. Neri

Arquitectura



La arquitectura es la ciencia y el arte que se ocupa de los proyectos y ejecución de los edificios. En los casos más simples, la arquitectura resuelve el problema de proteger al hombre de la intemperie en la forma más económica. En cambio, en las obras arquitectónicas más imponentes, la arquitectura crea monumentos perdurables que simbolizan los valores, las tradiciones y las aspiraciones de una cultura determinada.

La parte práctica de la arquitectura comprende el uso de los materiales de construcción y la manera de trabarlos entre sí. Para construir son necesarios materiales aptos, que soporten y transmitan los empujes. Estos empujes están constituidos por el conjunto de fuerzas que actúan sobre el edificio, y que podrían llegar incluso a derribarlo. Estas fuerzas pueden ser cargas fijas (el peso propio de la estructura y el peso de las cargas permanentes) y cargas accidentales (la fuerza del viento, el peso de la nieve, las acciones sísmicas y los movimientos de las personas que ocupan el edificio).

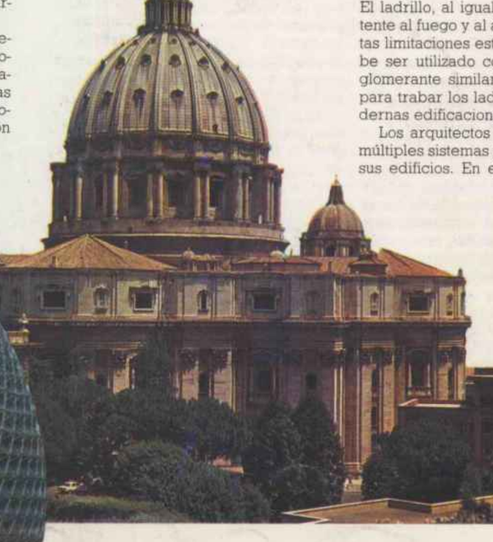
Los tres esfuerzos principales son: la compresión (que tiende a unir entre sí dos partículas de un material), la tracción (que separa las partículas) y el cizallamiento (que tiende a hacer resbalar, una sobre otra, dos partículas de un material). Todos los estados de esfuerzo complejos que pueden darse en un material son combinaciones de tracción, compresión y cizallamiento. El ejemplo más común es el del *esfuerzo de flexión*, que es un conjunto de compresión y de tracción en las diferentes fibras del mismo elemento estructural. Además, el buen resultado de cualquier estructura arquitectónica depende de su capacidad para distribuir los esfuerzos y transmitir las cargas al suelo.

La extraordinaria solidez del acero y del hormigón armado ha revolucionado la arquitectura moderna.

El hormigón (mezcla compuesta por cemento, agua, arena y piedras) era ya conocido por los antiguos romanos, que fabricaban un tipo primitivo a partir de las cenizas volcánicas. Sin embargo, sus enormes posibilidades como material de construcción quedaron prácticamente sin explotar hasta mediados del siglo XIX, período en el que se desarrolló la producción del hormigón realizado con cementos artificiales. El hormigón, al ser plástico, se puede verter y moldear prácticamente bajo cualquier forma, siendo capaz de resistir perfectamente los esfuerzos de compresión, pero no los de tracción. A principios del siglo XX se combina el hormigón con el acero, a fin de hacerlo resistente a los esfuerzos de tracción, creando así el hormigón armado, que se obtiene colando unas varillas de acero dentro del encofrado (o molde) que después se rellena de hormigón.

Los materiales de construcción tradicionales, como la piedra, el ladrillo y la madera, han sido sustituidos casi por completo por el acero y el hormigón. La madera, que se usó en estructuras a base de entramados, ha quedado en desuso para dicho fin, mientras que ha aumentado su valor como elemento decorativo en suelos y paredes. El ladrillo, al igual que la piedra, es resistente al fuego y al agua, pero presenta ciertas limitaciones estructurales y por ello debe ser utilizado con mortero (mezcla conglomerante similar al hormigón, que sirve para trabar los ladrillos entre sí en las modernas edificaciones).

Los arquitectos y los ingenieros utilizan múltiples sistemas para construir y sostener sus edificios. En el pasado, los muros de



Arriba, las bóvedas de crucería de la catedral de Bourges, del siglo XIII. Abajo, la gran cúpula de San Pedro, obra de Miguel Angel, y la cúpula geodésica de R. Buckminster Fuller (1967).

Desde 1943 a 1956 necesitó Frank Lloyd Wright para llevar a término el proyecto del Solomon Guggenheim Museum de Nueva York. Este edificio tiene la función de acoger colecciones de pintura, pero además se ha querido que su aspecto exterior rompiese la monotonía de las excesivamente simples estructuras geométricas urbanas. Su estructura es reflejo de una forma de arquitectura en la cual la creatividad totalmente libre del arquitecto tiene la posibilidad de expresarse en un material actual: el hormigón.



carga (gruesas paredes reforzadas que sostienen el peso de pavimentos, forjados y cubiertas) tenían una gran importancia, a pesar de que la mayor parte de los edificios presentaban dimensiones modestas. Con la llegada de los pilares y jambas de acero de la estructura de entramados metálicos, los muros de cerramiento se reducen a unidades prefabricadas cuya misión se limita simplemente a proteger de la intemperie.

La estructura de pórticos se basa en el sistema adintelado. Esta técnica tradicional de construcción, característica de los templos griegos, se compone de dos soportes verticales (o jambas) y un travesaño (o dintel) que se dispone horizontalmente entre los dos soportes. Los dinteles de piedra, tal y como los usaban los griegos, tenían que ser cortos, de manera que se pudiera evitar el riesgo de flexión, ya que la piedra no está en condiciones de soportar tracciones demasiado fuertes. Sin embargo, las vigas construidas en acero pueden ser mucho más largas. Esta mayor longitud entre soportes permite la utilización de estructuras porticales, es decir, de esos entramados ortogonales construidos con vigas soldadas, que conforman los elementos portantes de los modernos rascacielos.

El arco es la forma con la que se consigue una mayor separación entre los soportes o pilares. De esa forma, utilizando piedras pequeñas con formas determinadas (dovelas), se consigue que los esfuerzos se transmitan de unas a otras hasta los soportes y, a través de ellos, al suelo. Los arcos han sido muy utilizados en las portadas de los edificios, columnatas, puentes, acueductos, etcétera.

La cúpula es una estructura por lo general semiesférica que corona algunos edificio. El peso y los empujes perimetrales de la cúpula crearon problemas a los arquitectos del Renacimiento y del Barroco en las frecuentes utilizaciones que hicieron de la misma; anteriormente, los romanos emplearon muros extraordinariamente gruesos y macizos para sostenerlas. Brunelleschi resolvió los problemas relacionados con la cúpula del Duomo de Florencia (concluida en 1436) utilizando nervios apuntados, complementados con una estructura horizontal y elevación mediante hiladas en espiral.

Los nuevos logros en el campo de las estructuras conseguidos durante el siglo XX han permitido la construcción de grandes cúpulas. La cúpula geodésica, desarrollada por R. Buckminster Fuller, es una cubierta capaz de sostenerse por sí misma, lo que significa que no necesita de soportes accesorios para permanecer en pie.

La bóveda es similar a un arco tridimensional que se extiende como un techo curvo de una pared a otra, tal y como pasa, por ejemplo, en la nave de una catedral románica o gótica. Tanto los arcos como las bóvedas ejercen enormes fuerzas hacia el exterior, conocidas con el nombre de *empujes*. Los arquitectos góticos resolvieron el problema utilizando arbotantes, es decir, arcos rampantes de piedra o ladrillo que conducen los empujes al suelo, a través de machones o contrafuertes independientes situados exteriormente a los muros del edificio. La cercha o cuchillo, en cambio, es una estructura reticulada triangular utilizada para sostener las cubiertas.

El arquitecto proyecta un edificio según el uso para el que se destina (función), y según el estilo (forma) más expresivo.

La arquitectura destinada al mundo del trabajo (la fábrica y la oficina) se remonta básicamente a la Revolución Industrial. Los edificios proyectados para la producción y el comercio (tales como bancos, hoteles, almacenes y tiendas, fábricas para la producción en serie, aeropuertos) constituyen necesidades arquitectónicas relativamente recientes. En la actualidad, la riqueza se concentra en el sector industrial, por lo que es sobre todo la arquitectura para el mundo del trabajo —más que la religiosa o la pública— la que puede permitirse el uso de todo aquello que ofrecen la moderna tecnología y los nuevos estilos. El rascacielos, por ejemplo, es el resultado de conjuntar la utilización de nuevos materiales (el acero), nuevas técnicas (montaje de la estructura mediante soldadura), nuevas exigencias (explotar al máximo el espacio del que se dispone), nuevos inventos (el ascensor) y grandes capitales que permiten la erección de tales edificaciones.

La arquitectura religiosa comprende templos e iglesias, y con frecuencia monumentos funerarios, y refleja la historia de los estilos arquitectónicos.

La arquitectura destinada a sedes de gobierno y administración (parlamentos, palacios de justicia, edificios para usos administrativos o institucionales) refleja los valores públicos de una nación o de una cultura.

La arquitectura de edificios con fines culturales comprende estadios, museos, teatros, bibliotecas, etcétera.

La arquitectura de edificaciones residenciales satisface la necesidad vital de los individuos de habitar en unas condiciones lo mejor posibles para su desenvolvimiento personal, familiar y hasta comunitario.

Véase **Arco, arquitectura; Bóveda y cúpula; Estática; Hormigón**

Arrabio

Hay en el mundo una abundancia tal de minerales de hierro, que nos lleva a pensar que fue el primer metal trabajado por el hombre. En realidad, la Edad del Hierro fue posterior a la Edad del Bronce, ya que el hierro es mucho más difícil de encontrar, refinar y trabajar que el estaño y el cobre, los componentes del bronce. Por ejemplo, el estaño funde a 232 °C y el cobre a 1.083 °C, mientras que el hierro lo hace a 1.530 °C. En una hoguera de leña se puede fundir el estaño y el cobre, pero ni siquiera el mejor de los hornos de leña puede fundir el hierro. Los herreros que primero aprendieron a trabajar el hierro fueron considerados casi magos. Los hititas, que vivieron en la actual Turquía entre los años 2000 y 700 a. de C., fueron los primeros herreros. Sólo ellos eran capaces por entonces de fundir el mineral de hierro en sencillos hornos, en los que quemaban carbón de madera e insuflaban aire por medio de fuelles. El hierro se fundía sólo en parte y los herreros tenían que golpearlo con martillos pilones para hacer que se desprendieran las escorias (impurezas fundidas).

Hornos altos Hoy día, la mayor parte de la producción de hierro es obtenida por medio de hornos altos, que se empezaron a usar en la Edad Media. Un horno alto suele medir entre 15 y 30 metros. En él se quema cok, un carbón al que se le han eliminado las impurezas mediante una combustión previa, que arde con una llama de gran poder calorífico avivada por medio de grandes corrientes de aire caliente introducido a presión en el horno alto. Este se carga, por arriba, con mineral de hierro y caliza, y a través de una treintena de procesos químicos se obtiene el hierro. Después de que en el horno alto se ha producido la fusión del hiero, éste se hace salir por la base en forma de "arrabio" o "fundición de primera fusión". Este tipo es llamado en inglés *pig-iron*, "fundición de cerdo", debido a la forma del molde en el que antiguamente se dejaba enfriar. Los herreros comparaban las piezas fundidas, redondas y pesadas, con los cerdos, y los ingleses aún conservan este nombre para la fundición de primera fusión.

La fundición se produce en el horno alto, que es una colosal columna de acero cubierta de material refractario en la que se carga, por la parte superior, el mineral de hierro y el carbón y se insufla aire desde abajo. Los humos del horno alto sirven para calentar en las grandes torres Cooper (abajo) el aire que será insuflado en el horno. El cuerpo del horno alto aparece abierto para mostrar la distribución de temperaturas en su interior. La carga se introduce desde arriba por medio de una doble puerta cónica, que se abre en dos tiempos para evitar la salida de los humos. A medida que el carbón se quema, el material de hierro reducido desciende hasta que el hierro fundido, aleado con carbono, es colado.

torre Cooper (recuperación del calor de los humos)

distribución de aire caliente

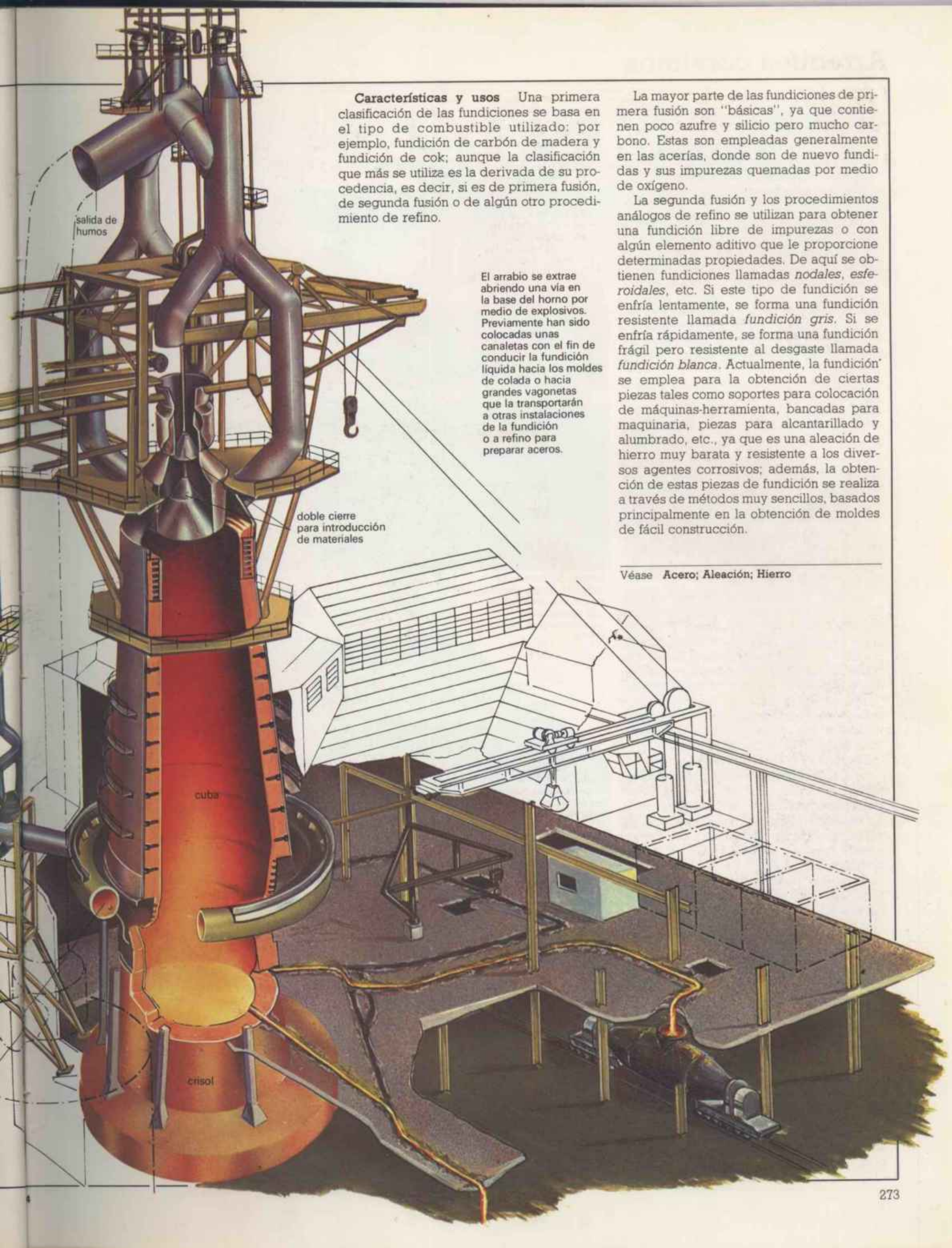
A la izquierda, microfotografía de luz polarizada de una fundición al 2,6% de carbono, formada por perlita y cementita secundaria.

Características y usos Una primera clasificación de las fundiciones se basa en el tipo de combustible utilizado: por ejemplo, fundición de carbón de madera y fundición de cok; aunque la clasificación que más se utiliza es la derivada de su procedencia, es decir, si es de primera fusión, de segunda fusión o de algún otro procedimiento de refino.

La mayor parte de las fundiciones de primera fusión son "básicas", ya que contienen poco azufre y silicio pero mucho carbono. Estas son empleadas generalmente en las acerías, donde son de nuevo fundidas y sus impurezas quemadas por medio de oxígeno.

La segunda fusión y los procedimientos análogos de refino se utilizan para obtener una fundición libre de impurezas o con algún elemento aditivo que le proporcione determinadas propiedades. De aquí se obtienen fundiciones llamadas *nodales*, *esferoidales*, etc. Si este tipo de fundición se enfría lentamente, se forma una fundición resistente llamada *fundición gris*. Si se enfría rápidamente, se forma una fundición frágil pero resistente al desgaste llamada *fundición blanca*. Actualmente, la fundición se emplea para la obtención de ciertas piezas tales como soportes para colocación de máquinas-herramienta, bancadas para maquinaria, piezas para alcantarillado y alumbrado, etc., ya que es una aleación de hierro muy barata y resistente a los diversos agentes corrosivos; además, la obtención de estas piezas de fundición se realiza a través de métodos muy sencillos, basados principalmente en la obtención de moldes de fácil construcción.

Véase **Acero; Aleación; Hierro**



El arrabio se extrae abriendo una vía en la base del horno por medio de explosivos. Previamente han sido colocadas unas canaletas con el fin de conducir la fundición líquida hacia los moldes de colada o hacia grandes vagonetas que la transportarán a otras instalaciones de la fundición o a refino para preparar aceros.

Arrecifes coralinos

Los fascinantes colores y las espléndidas formas de los arrecifes coralinos no sólo caracterizan a uno de los más bellos paisajes submarinos, sino también a uno de los ecosistemas más complejos del océano, que, sobre todo en los últimos años, ha sido objeto de numerosas investigaciones.

La formación de los arrecifes coralinos Los arrecifes de coral se han formado al acumularse restos esqueléticos de organismos marinos. Los esqueletos de los corales, compuestos por carbonato cálcico, constituyen la estructura soporte, mientras que fragmentos de esqueletos de otros animales y de algas, arena y fango llenan los intersticios. Las algas rojas calcáreas mantienen unida la estructura, actuando como un cemento.

Las algas simbióticas que viven en el interior de los tejidos de los corales (zooxantelas) parecen ser básicas en la formación y desarrollo de un arrecife coralino. Estas, mediante la fotosíntesis, producen sustancias orgánicas utilizables por los corales, a la vez que aprovechan productos de desecho de éstos. Intervienen además en el proceso de calcificación, por el cual el CO_2 producido en la respiración se combina con los iones calcio del agua para dar carbonato cálcico, que se deposita constantemente en el esqueleto de los corales, haciendo crecer el arrecife.

La alta productividad de los corales, junto a una cierta productividad planctónica (fitoplancton y zooplancton) y de las algas bentónicas, se traduce en una fuente de nutrición para una gran cantidad de animales invertebrados y peces bien adaptados a explotarla de muy diversas formas.

Los arrecifes coralinos se desarrollan sobre todo en aguas superficiales de zonas tropicales con temperaturas altas y estables, puesto que necesitan la luz para la fotosíntesis de las algas simbióticas.

Aunque muchos arrecifes se levantan desde notables profundidades, sólo su parte superficial se mantiene viva; el resto es una masa calcárea constituida por las partes muertas de los corales y otros organismos, que va quedando debajo al ir creciendo la estructura.

Se piensa también que muchos bancos arrecifales que hoy no alcanzan la superficie del agua sí lo hacían en tiempos pasados y durante el período glacial. Cuando el gran manto de hielo se deshizo, el nivel del mar subió enormemente (cerca de 100-120 metros) y cubrió los arrecifes. Sin embargo, otros muchos, creciendo rápidamente, estuvieron capacitados para mantener el paso de la elevación del nivel del mar y persistieron.

tentáculos

boca

tabiques mesentéricos

El material básico de los arrecifes es el esqueleto calcáreo de corales. Cada colonia consta de numerosos individuos, llamados pólipos, formados por un cuerpo cilíndrico con la boca en la parte superior y rodeada de tentáculos, y una cavidad central dividida en cámaras mediante paredes de tejido (donde viven las algas simbióticas que realizan la fotosíntesis). Cada pólipo está instalado en una especie de copa calcárea, sobre cuya base se va depositando el carbonato cálcico que, al acumularse, hace crecer hacia arriba el arrecife.



En el mapa, distribución mundial de los arrecifes coralinos. Estos se desarrollan en las aguas cálidas, ya que las temperaturas altas y estables parecen ser el factor primordial que controla su formación y desarrollo, en forma de franjas, atolones, plataformas y barreras. La primera y la última lo hacen en los contornos de los continentes; la segunda, en las paredes de volcanes sumergidos, y la tercera, entre las barreras y el mar abierto.

isla volcánica

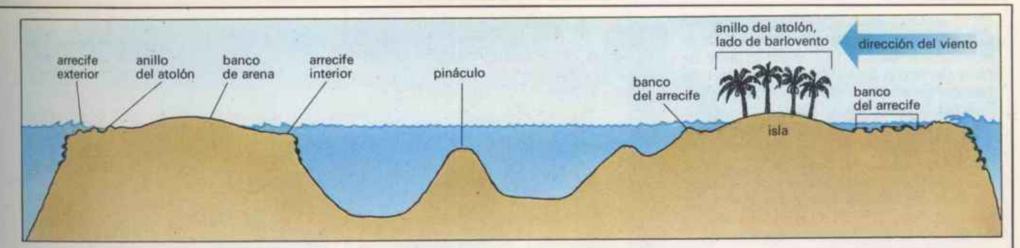
La primera fase de la formación de un atolón es aquélla en la que las colonias de pólipos se fijan a las paredes de un edificio volcánico reciente. Esto es posible sólo después de que se ha alcanzado un cierto grado de asentamiento (a la izquierda).



A menudo, la estabilidad del edificio volcánico marino es precaria: la erosión y el asentamiento subacuático lo destruyen con bastante rapidez. El cono, cuando han acabado las erupciones, se reduce de altura y las paredes que están bajo el agua se derrumban. Al mismo tiempo que tiene lugar esta destrucción, la masa de corales que se ha fijado a la roca crece en altura y espesor, dando lugar a la formación de un atolón (a la derecha).

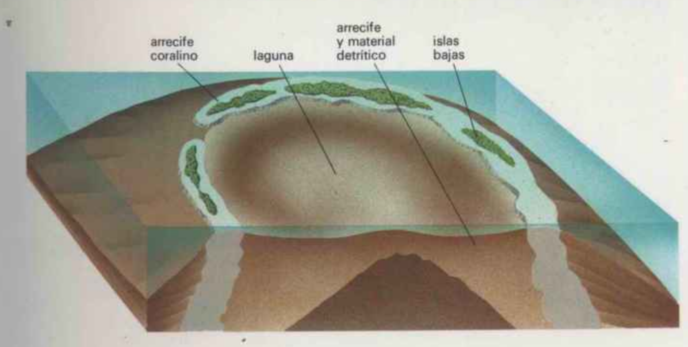
Tipos de arrecifes coralinos Existen cuatro tipos de arrecifes coralinos: franjas, barreras coralinas, plataformas y atolones. Las *franjas coralinas* se desarrollan a lo largo de las costas de las islas y de los continentes. Pueden extenderse en el mar a lo largo de un kilómetro y medio, si su crecimiento no se interrumpe con recodos por los que se introducen corrientes de agua dulce. En estos arrecifes la vida submarina es mucho más rica sobre el lado de mar abierto, donde las mareas y el oleaje crean surcos, grietas, cuevas y parajes aptos para albergar algas y fauna marina.

El segundo tipo está constituido por las *barreras coralinas* que forman, precisamente, una barrera entre el océano y la tierra firme, que resultan así separados por una amplia laguna. La Gran Barrera Coralina, situada frente a la costa oriental de Australia, no es sólo la más grande del mundo, sino que es también la mayor estructura construida por seres vivientes. Extensa en longitud como la costa occidental de los Estados Unidos, tiene una superficie de casi 200.000 km^2 y alcanza una profundidad en mar abierto de 180 metros. Las 350 especies de corales y algas, las 40 especies de





Arriba, sección de un atolón, arrecife de forma anular que encierra una laguna en su interior. En el caso ideal, la laguna se halla totalmente rodeada por una corona de arrecife, pero normalmente se comunica con el mar abierto al menos por un paso, a través del cual circula el agua impulsada por el oleaje. Los restos de coral y arena que se acumulan sobre la corona arrecifal originan islas que pueden quedar separadas entre sí por profundos canales entre la laguna y el mar.



Abajo, el edificio del atolón en un estadio inicial de formación en el cual el edificio volcánico sobresale aún del mar y los corales han arraigado sólo sobre la periferia. En la foto superior, sin embargo, los corales se han convertido en los "dueños" de toda la estructura hasta la superficie: tenemos una isla sin laguna central. En cambio, en la figura del centro aparece un estadio avanzado de la formación coralina. El hundimiento del volcán ha sido rápido, pero también los corales han crecido rápidamente: se ha formado la estructura de anillo con una profunda laguna central. Si el crecimiento de los corales continuara rápido y el volcán no se hundiera más, la laguna se colmataría o por lo menos disminuiría su profundidad. En tiempos pasados, los atolones con una laguna central profunda y una brecha en la barrera coralina periférica fueron utilizados muy a menudo como seguros puertos naturales.



plantas que cubren la parte emergida, la extraordinaria vida animal que allí se desarrolla y, sobre todo, las algas rojas, que constituyen su rasgo más característico, han convertido la Gran Barrera Coralina en una atracción para científicos y turistas. Entre las excepcionales especies animales que la pueblan están los bivalvos gigantes, con valvas de un metro y medio de anchura y más de 90 kg de peso, y las gigantescas estrellas marinas con un diámetro de 60 centímetros.

Hasta hace bien poco, se pensaba que estas estrellas marinas eran nocivas para la vida del arrecife, ya que, alimentándose de pólipos coralinos, habían literalmente arrasado algunas de las zonas más interesantes de la barrera. Pero, por el contrario, se ha descubierto que estos predadores son necesarios en la barrera, ya que crean espacios para un nuevo desarrollo y, al alimentarse de la pequeña fauna submarina, añaden nuevos esqueletos que refuerzan la estructura de la barrera coralina.

Las *plataformas coralinas* se desarrollan a manchas, es decir, en arrecifes aislados, principalmente sobre el escudo continental, y están a menudo situadas entre las barreras coralinas y el mar abierto. De los cuatro tipos de formaciones coralinas existentes, las plataformas son las que adquieren formas más variadas. Cuando la renovación del agua es igual sobre todos los lados, se forman las verdaderas plataformas. Cuando, por el contrario, las corrientes circundantes tienen diferente fuerza, las plataformas toman la forma de una herradura, con el extremo cerrado cerca de la corriente más fuerte.

Los *atolones* son arrecifes en forma de anillo, que se desarrollan en torno a los bordes de volcanes submarinos apagados. Como teorizó Ch. Darwin, cuando las bases volcánicas se hundieron lentamente y se levantó el nivel del mar después de la era glacial, el anillo coralino se desarrolló hacia la superficie, creando el atolón en forma de anillo con una laguna en el centro. Sobre los soportes submarinos del atolón se formaron a su vez nuevas barreras coralinas submarinas. El atolón más grande del mundo es el de Kwajalein, en las islas Marshall, con una superficie de 2.000 km^2.

Sólo recientemente el hombre ha comenzado a apreciar, además de la belleza, la riqueza de los arrecifes coralinos. Prueba de ello es que numerosas especies animales y vegetales, incluidos los corales, se emplean en la obtención de productos de aplicación farmacéutica e industrial.

El valor biológico y ecológico y el potencial económico de las formaciones coralígenas son tan elevados, que los ecólogos han tomado la iniciativa, ante diversos organismos internacionales, de proponer medidas adecuadas tendentes a limitar y controlar su uso en determinados aspectos, con la clara finalidad de preservar su existencia.

Arroz

Si bien no existen pruebas fehacientes acerca de cuándo y dónde se cultivó por primera vez el arroz, la mayor parte de los arqueólogos considera que el cultivo de este cereal tuvo su origen en el área comprendida entre India Oriental y China Meridional, hace 4.000 ó 5.000 años. De allí el cultivo del arroz se difunde en todas las direcciones: Japón, Filipinas, Persia, Egipto, compitiendo en popularidad con otros cereales como el mijo, la cebada y el trigo. Fue introducido en Europa por los árabes en el siglo VIII, a través de España. En el siglo XVII llega a América.

Planta sin grandes pretensiones, el arroz (*Oryza sativa*) ocupa solamente una quinta parte de la superficie total asignada en el mundo a la producción de cereales; sin embargo, es la planta de mayor importancia alimenticia, ya que constituye el alimento principal de más de la mitad de la población mundial. El volumen de su producción es similar al del trigo y superior al del maíz, los otros dos cereales que comparten con él la primacía mundial.

El arroz se consume mayoritariamente en el Sureste asiático, donde el consumo anual por persona está entre 90 kg y 180 kg, mientras que en Estados Unidos, por ejemplo, es tan sólo de 2,25 kilogramos.

Pellegrini

Usos del arroz En los países occidentales el arroz es utilizado principalmente para el desayuno y la comida o como alternativa de las patatas. Pero en Extremo Oriente el arroz, además de ser el principal recurso nutritivo, es también molido para preparar tortas y pastas, y se le hace fermentar para obtener licores.

Al contener mucho almidón, allá donde constituye el alimento base se mezcla con verduras, aceites y salsas (de soja preferentemente), aceitunas, algunas carnes, pescado y semillas de sésamo.

En estado natural, cuando se mantiene la película externa (cascarilla), el arroz es una gran fuente de vitamina B, fósforo, hierro, potasio y calcio. En general, en Occidente se prefiere el "arroz blanco", que se obtiene después de quitar toda la cáscara; este proceso, llamado "abrillantado" o "descascarillado", priva al grano de gran parte de su poder nutritivo. Los chinos y los hindúes, que han comido durante siglos arroz integral, es decir, con cascarilla, han comenzado a sufrir de malnutrición generalizada como consecuencia de la introducción del descascarillado en la época colonial británica.

La paja del arroz se usa para construir los techos de algunas viviendas y para fabricar papel, esteras, sombreros, cestas y cuerdas.

Cultivo del arroz Al ser una planta anual, el arroz debe ser sembrado cada año. Hay dos tipos de arroz doméstico: uno, cultivado bajo el agua en arrozales o en charcas; otro, en las pendientes de las colinas, en terrazas o bancales. El arroz montano se cultiva en regiones donde hay muchas precipitaciones pluviales y una larga estación vegetativa, pero la cosecha es mínima comparada con la del arroz cultivado en las llanuras.

El arroz necesita gran cantidad de agua para desarrollarse; las plantas están dotadas de raíces y tallos huecos para abastecer de aire a las partes que quedan sumergidas durante el ciclo vegetativo. La siembra se efectúa generalmente en semilleros y luego se trasplanta (a los 40-60 días de la siembra) en arrozales regularmente sumergidos —lechos de fango con un subsuelo de arcilla para evitar que el agua se filtre— cuando las plantas tienen entre 30 y 50 días. La cosecha de arroz transplantado es más alta, más uniforme y de mayor calidad que la obtenida del arroz cultivado directamente de la semilla. La recogida tiene lugar después de un período de 80 a 200 días, según la variedad.

En los Estados Unidos y Europa Occidental, donde el costo de la mano de obra es muy elevado, el arroz se siembra mecánicamente con una sembradora automática o desde aeroplanos antes del encharcamiento del suelo; una vez maduro, se recoge con cosechadoras.

El número de variedades de arroz es impresionante: sólo en la India existen más de 8.000 variedades distintas y en Filipinas unas 3.500. El arroz no abrillantado puede presentarse de color blanco, marrón, ámbar, rojo o negro, y la forma de los granos varía según las variedades.

La moderna genética de los cereales ha desarrollado especies de alto rendimiento y de gran resistencia a las enfermedades.

Véase **Cereales**



PLANTA, FLOR, FRUTO

Las plantas de arroz necesitan mucha agua para su desarrollo, por lo que después de la siembra en viveros especiales son transplantadas a arrozales inundados. El tallo lleva en el extremo pequeñas mazorcas con muchas espigas. Las hojas son ásperas por la presencia de pelos duros y cortos. El fruto es una cariópside que al madurar se desprende, quedando a veces glumas que se eliminan con el posterior descascarillado del arroz. A, sección longitudinal de un fruto; B, parte superior de la planta con mazorca de fruto; C, detalle de una flor.

El arroz, más que cualquier otro cereal, representa la principal fuente de alimento para gran parte de la población mundial. Los países orientales son los mayores productores y consumidores (diagrama superior). En las fotos pueden apreciarse dos tipos distintos de cultivo: en llanura de tipo aluvial (arriba, arrozales en Lomellina) y en terrazas en las pendientes de las colinas (a la derecha, en China). La variedád más común es el arroz de los arrozales inundados.

Articulaciones óseas

La articulación carpometacarpiana del dedo pulgar de la mano del hombre, una simple protuberancia de un huesecillo de la muñeca, ha sido considerada la raíz de todas las civilizaciones. Esta articulación del pulgar es, en efecto, única y permite a este dedo funcionar en oposición (es decir, "oponerse") a los demás dedos. Tan singular característica nos permite sostener, agarrar, apretar, tener sujetos, comprimir, doblar y maniobrar diferentes objetos, actos todos ellos que ningún otro animal, excluidos los simios, puede hacer. Se trata, por tanto, de uno de los más perfectos ejemplos de *articulación*.

Las articulaciones se localizan en aquellos puntos del organismo en donde se encuentran huesos sujetos a ciertos movimientos. Las articulaciones son, por consiguiente, las uniones o *coyunturas* de los huesos. Para realizar un movimiento, los músculos se contraen, los tendones se estiran sobre los huesos y los miembros se flexionan o bien oscilan o giran unos sobre otros. El movimiento propiamente dicho, sin embargo, tiene lugar en las superficies de las extremidades de los huesos; estas superficies óseas o carillas articulares constituyen la verdadera articulación.

Las articulaciones pueden adoptar formas muy diversas y servir para varios tipos de movimiento. Entre los movimientos más importantes destacan la rotación, la oscilación, el deslizamiento y la rotación desequilibrada (ondulación).

La *rotación* es el movimiento circular de un hueso largo alrededor de su propio eje, como el que se produce al girar la cabeza de un lado a otro.

Existen cuatro tipos de movimiento de *oscilación:* la *flexión* y la *extensión*, que pueden estar representadas por el plegamiento y el estiramiento del codo, respectivamente; y la *abducción* (o separación) y *aducción* (o aproximación), que tienen lugar, por ejemplo, al separar y al aproximar el brazo al tronco.

El *deslizamiento* y la *rotación desequilibrada* son formas de movimiento más limitado, con frecuencia asociado a los huesos estrechamente apretados de la mano y del pie, que tienden a deslizarse o a flexionar ligeramente más que a oscilar o a rotar.

Estructura de la articulación En el organismo humano el tipo más frecuente de articulación es la *unión* (o acoplamiento) *sinovial*, llamada de esta manera porque se encuentra llena de un fluido denominado *líquido sinovial*. La típica unión sinovial está rodeada por un saco, o *cápsula articular*, repleto de un líquido viscoso y elástico. La cápsula articular se alimenta gracias a los vasos sanguíneos que nutren los huesos de la articulación. Dicha cápsula produce el líquido sinovial que lubrifica las partes en movimiento y nutre las superficies articulares de los huesos en contacto (llamadas también *cartílagos articulares*).

Las fibras diferenciadas que se extienden a lo largo de la articulación se llaman *ligamentos*. La cápsula articular, los ligamentos y los músculos circundantes colaboran a estabilizar las articulaciones y la forma de los huesos en ellas implicados. Por consiguiente, una rotura de los ligamentos puede evolucionar dando lugar a inestabilidad de la articulación y posteriormente a limitación de la funcionalidad articular, hasta que tenga lugar la curación (cicatrización).

Superficies de las articulaciones Los huesos se articulan con las extremidades que "se unen" o se adaptan una dentro de la otra.

En las extremidades ovoidales la superficie de un hueso será cóncava, mientras que la del otro será convexa.

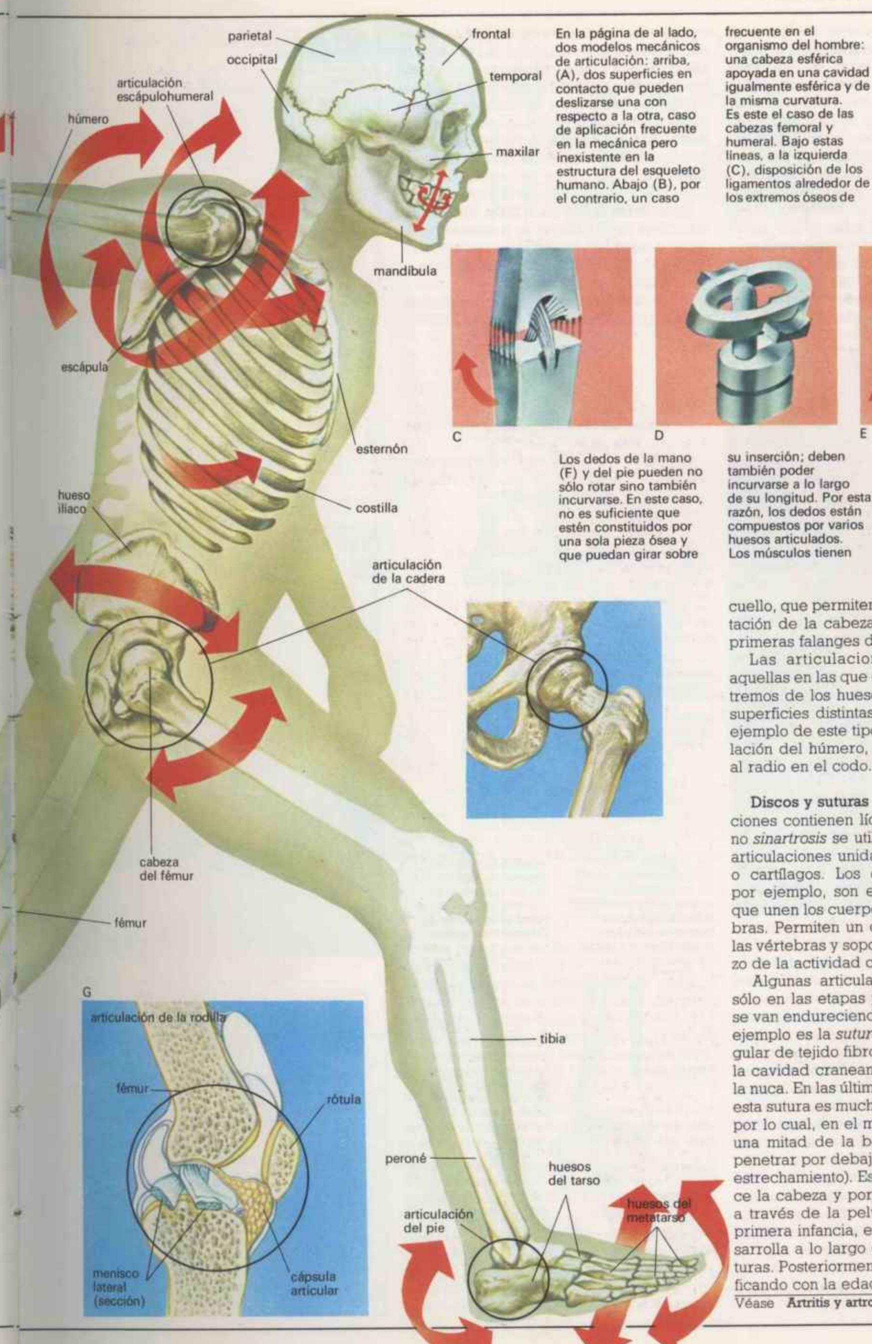
En las extremidades óseas "en silla de montar", el punto de contacto es, como indica su mismo nombre, parecido a una silla de montar: es decir, una superficie resulta convexa a lo largo de un eje, mientras que la otra es cóncava con un ángulo de 90° con respecto a la primera. El movimiento de oposición del pulgar es posible gracias precisamente a una articulación "en silla de montar".

Las articulaciones sinoviales pueden asumir otras formas muy diversas. La articulación esferoidal es conocida más comúnmente como "articulación esférica o en rodillera". Dado que este tipo de articulación une una protuberancia esférica con una cavidad cóncava, tales articulaciones son las únicas que permiten cinco tipos de movimiento: flexión, extensión, abducción, aducción y rotación. No es de extrañar, por tanto, que se encuentren situadas en las dos regiones del cuerpo en donde tiene lugar el mayor número de movimientos: el hombro y la cadera.

Otros tipos de articulaciones sinoviales comprenden las denominadas en *gínglimo* (en el codo), *articulaciones planas* (en el pequeño movimiento de deslizamiento de los huesos metacarpianos de la mano), en *perno o gozne* (en las articulaciones del



Los movimientos de todos los animales vertebrados se realizan gracias a una estructura de elementos rígidos resistentes a la compresión (los huesos) que pueden moverse unos respecto a otros debido a la acción de los tendones y los músculos, cuyas extremidades se fijan en los propios huesos. Los puntos de contacto, es decir, las zonas en las cuales debe realizarse el movimiento de los elementos óseos adyacentes, constituyen las articulaciones. En el organismo humano se observa que los contactos entre un hueso y su adyacente se realizan con una perfecta superposición de las superficies de contacto. Existen unos líquidos corporales especializados que realizan la lubrificación de la articulación. En ningún animal superior existe una articulación capaz de efectuar un giro completo en torno a un eje. Sin embargo, cada una de las articulaciones del esqueleto humano posee una superficie de contacto suficiente para poder llevar a cabo los movimientos en toda la amplitud necesaria para el uso habitual del miembro. De este modo, la posibilidad de que se pierda el contacto óseo, es decir, de que se produzca una luxación o dislocación, es muy pequeña. En la figura grande se representan algunas articulaciones importantes de nuestro organismo.



En la página de al lado, dos modelos mecánicos de articulación: arriba, (A), dos superficies en contacto que pueden deslizarse una con respecto a la otra, caso de aplicación frecuente en la mecánica pero inexistente en la estructura del esqueleto humano. Abajo (B), por el contrario, un caso frecuente en el organismo del hombre: una cabeza esférica apoyada en una cavidad igualmente esférica y de la misma curvatura. Es este el caso de las cabezas femoral y humeral. Bajo estas líneas, a la izquierda (C), disposición de los ligamentos alrededor de los extremos óseos de una articulación llamada a realizar movimientos de flexión y de rotación; en el centro (D), un modelo de la articulación del cráneo sobre la primera vértebra cervical; a la derecha (E), modelo simplificado de la rodilla (véase también el esquema (G) de la parte inferior de esta página).

Los dedos de la mano (F) y del pie pueden no sólo rotar sino también incurvarse. En este caso, no es suficiente que estén constituidos por una sola pieza ósea y que puedan girar sobre su inserción; deben también poder incurvarse a lo largo de su longitud. Por esta razón, los dedos están compuestos por varios huesos articulados. Los músculos tienen importancia para realizar el movimiento, pero los ligamentos son esenciales para evitar la separación de los distintos huesos independientes.

cuello, que permiten los movimientos de rotación de la cabeza), y *elipsoideas* (en las primeras falanges de los dedos).

Las articulaciones *bicondilares* son aquellas en las que el contacto entre los extremos de los huesos se establece en dos superficies distintas de la articulación. Un ejemplo de este tipo lo constituye la articulación del húmero, que se une al cúbito y al radio en el codo.

Discos y suturas No todas las articulaciones contienen líquido sinovial. El término *sinartrosis* se utiliza para denominar las articulaciones unidas solamente por fibras o cartílagos. Los *discos intervertebrales*, por ejemplo, son en efecto articulaciones que unen los cuerpos de las distintas vértebras. Permiten un cierto movimiento entre las vértebras y soportan el peso y el esfuerzo de la actividad cotidiana.

Algunas articulaciones son funcionales sólo en las etapas prenatales de la vida y se van endureciendo tras el nacimiento. Un ejemplo es la *sutura sagital*, una línea irregular de tejido fibroso situada a lo largo de la cavidad craneana desde la frente hasta la nuca. En las últimas fases de la vida fetal, esta sutura es mucho más amplia y elástica, por lo cual, en el momento del nacimiento, una mitad de la bóveda craneana puede penetrar por debajo de la otra (proceso de estrechamiento). Este proceso empequeñece la cabeza y por lo tanto facilita su paso a través de la pelvis materna. Durante la primera infancia, el cráneo del niño se desarrolla a lo largo de los surcos de las suturas. Posteriormente las suturas se van osificando con la edad.

Véase **Artritis y artrosis; Ortopedia**

Artritis y artrosis

Con frecuencia se piensa en la artrosis como en una enfermedad exclusivamente humana; sin embargo, cualquier ser viviente que posea un esqueleto con huesos que se deslicen unos sobre otros puede padecer esta dolencia. Por otra parte, se trata de un trastorno que existe en la Naturaleza desde hace al menos cien millones de años. Los restos fosilizados de un gran dinosaurio saurópodo, conocido como *Diplodocus longus*, que data de la era Mesozoica, muestran huellas petrificadas de una enfermedad degenerativa de las articulaciones.

La palabra *artritis* significa inflamación de las articulaciones, esto es, los puntos en los cuales entran en contacto los huesos del organismo. La artritis origina hinchazón, rigidez, entumecimiento y dolor agudo en las articulaciones. El dolor articular sin otros síntomas se denomina *astralgia*.

Algunas formas de artritis son causadas por bacterias o virus que provocan infección, hinchazón y dañan la articulación. Infecciones bacterianas específicas, como la sífilis y la gonococia, además de enfermedades virales como el sarampión y la hepatitis, provocan frecuentemente dolores de tipo artrítico. Pero la causa de muchos otros tipos de artritis es aún desconocida.

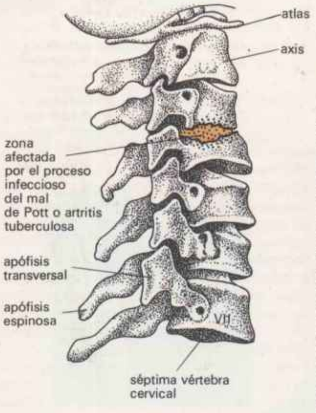
Tal vez la forma más corriente de artritis sea la *osteoartritis* (conocida también como *artrosis*, sobre todo en Europa). Se trata de un tipo de artritis degenerativa que sobreviene en primer lugar como consecuencia de la senectud. A diferencia de otras formas de artritis, la osteoartritis habitualmente no provoca graves deformaciones, pero puede inmovilizar la articulación y producir molestias importantes.

Cuando los huesos se unen para formar una articulación, las partes móviles de las extremidades óseas que entran en contacto están normalmente recubiertas por una sustancia gomosa y semiflexible conocida como *cartílago*. En condiciones normales, el cartílago disminuye el rozamiento y, por tanto, la articulación (el movimiento de los huesos que entran en contacto) es fácil e indolora. Sin embargo, cuando una persona envejece, el cartílago se vuelve tosco y abrasivo, algo parecido al papel de lija. Mientras que el cartílago de un hueso roza contra el cartílago del hueso adyacente, la acción abrasiva tiene el efecto de ir "lijando" el cartílago de ambos huesos y, por tanto, de ir eliminándolo. Al final del proceso las extremidades óseas quedan expuestas y rozan la una contra la otra, y el movimiento resulta doloroso y difícil. En algunos casos unas protuberancias óseas, conocidas como *osteofitos*, sobresalen de las extremidades óseas de la articulación; finalmente, los huesos se funden uno con otro y la articulación se transforma en parte de un largo hueso completamente fundido.

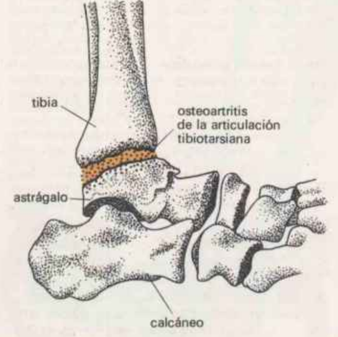
Algunas formas de osteoartritis pueden ser congénitas. La de la cadera, por ejemplo, puede derivar de una adaptación imperfecta de la cabeza femoral con la pelvis, condición patológica que puede presentarse en el momento del nacimiento o desarrollarse durante la infancia.

Los efectos degenerativos de la senilidad empeoran la situación, pero pueden ser corregidos quirúrgicamente. La artritis reumatoide afecta a partes tales como los dedos, las muñecas y las rodillas, y quien padece esta enfermedad queda a menudo "invalidado" por ella, ya que pierde parcialmente el uso de estas articulaciones a causa del dolor y de las deformaciones. Como las otras formas de artritis, provoca la típica inflamación de la capa sinovial (un saco lleno de fluido que se encuentra en la unión entre dos huesos) y de los tendones (el tejido fibroso que mantiene los músculos insertados en los huesos).

No obstante su nombre, la artritis reumatoide no sólo tiene relación con las articula-



La artritis, proceso inflamatorio que afecta las articulaciones, puede ser de naturaleza infecciosa. Los gérmenes patógenos pueden tener diversos lugares de localización. En los esquemas se representa en color la zona afectada por el proceso infeccioso.

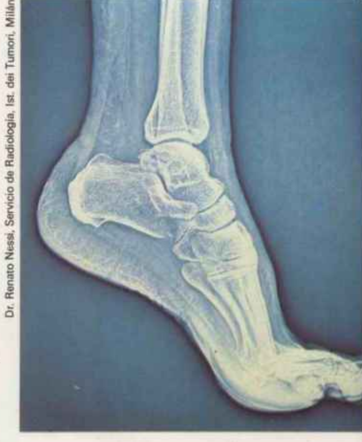


LOS SINTOMAS DE LA ARTRITIS REUMATOIDE	
Dolor	•
Rigidez matutina	••
Pérdida de fuerza	•••
Tumefacción	densa y caliente
Pérdida de movimiento	••
Atrofia	•••
Otras características:	nódulos, distorsión articular, nódulos linfoides

PRINCIPALES MANIFESTACIONES PATOLOGICAS INTESTINALES DE LA ARTRITIS REUMATOIDE
Ulcera péptica
Vasculitis
Ulceras isquémicas del intestino
Lesiones vasculares en el páncreas, bazo e hígado
Mala absorción

En las tablas, patología de la artritis reumatoide, enfermedad que ataca sobre todo las articulaciones de las manos y los pies.

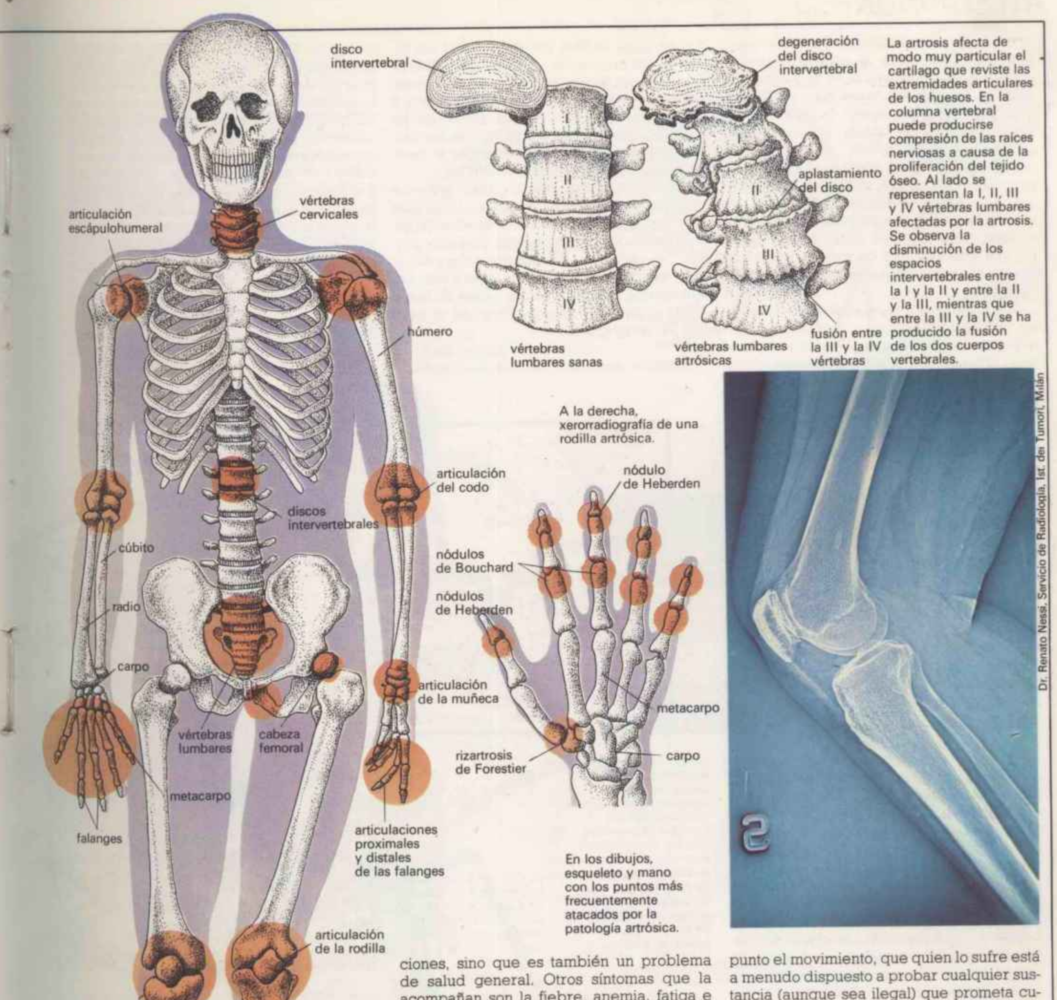
El tobillo de la xerorradiografía muestra el aspecto de los huesos y de las articulaciones típico de las personas ancianas.



Dr. Renato Nessi, Servicio de Radiologia, Ist. dei Tumori, Milán

PRINCIPALES MANIFESTACIONES PLEUROPULMONARES DE LA ARTRITIS REUMATOIDE
Lesiones pleurales
Nódulos reumatoides intrapulmonares
Alveolitis fibrosante
Neumoconiosis reumatoide
Vasculitis articular pulmonar

PRINCIPALES MANIFESTACIONES CARDIOLOGICAS DE LA ARTRITIS REUMATOIDE
Miocarditis
Pericarditis
Vasculitis



La artrosis afecta de modo muy particular el cartílago que reviste las extremidades articulares de los huesos. En la columna vertebral puede producirse compresión de las raíces nerviosas a causa de la proliferación del tejido óseo. Al lado se representan la I, II, III y IV vértebras lumbares afectadas por la artrosis. Se observa la disminución de los espacios intervertebrales entre la I y la II y entre la II y la III, mientras que entre la III y la IV se ha producido la fusión de los dos cuerpos vertebrales.

A la derecha, xerorradiografía de una rodilla artrósica.

En los dibujos, esqueleto y mano con los puntos más frecuentemente atacados por la patología artrósica.

ciones, sino que es también un problema de salud general. Otros síntomas que la acompañan son la fiebre, anemia, fatiga e inflamación de las arterias o bien del pericardio (la membrana en forma de saco que reviste al corazón). Es más frecuente en las personas por encima de los cuarenta años, aun cuando exista una forma —el síndrome de Still— que afecta a los niños.

La causa de la artritis reumatoide no ha sido determinada hasta ahora, ni existe tampoco ningún tratamiento curativo. Los médicos prescriben con frecuencia aspirina u otros antiinflamatorios. La cortisona y otros tratamientos químicos pueden aliviar algunos síntomas, pero no eliminan la enfermedad. En algunas ocasiones, el tejido inflamado puede ser extirpado quirúrgicamente con el fin de limitar la deformación.

El dolor de la artritis crónica puede ser tan persistente y puede impedir hasta tal punto el movimiento, que quien lo sufre está a menudo dispuesto a probar cualquier sustancia (aunque sea ilegal) que prometa curarle o darle aunque sólo sea un alivio temporal. Las inyecciones de sales de oro han mostrado ser útiles para algunos pacientes, pero la lista de remedios discutibles y claramente ineficaces es larga y desmoralizadora. Comprende los compuestos de azufre, cocaína, antibióticos, vacunas y el veneno de cobra y de serpiente de cascabel. Pasará todavía tiempo antes de que la Medicina pueda ofrecer cura a este mal o alivio eficaz para el dolor, tiempo durante el que es muy posible se multipliquen y abunden los seres afectados y que hasta los reptiles —igual que sus primos, los dinosaurios— padezcan también de artritis.

Véase **Articulaciones óseas**

Artrópodos

Existen innumerables pequeños animalitos cuyas vidas se desenvuelven en los más diversos espacios de la Naturaleza: caminan sobre el fondo del mar, vuelan por el aire, se refugian debajo de las piedras o de la corteza de los árboles, etc. Su nombre genérico es *Artrópodos*, pero concretamente se les conoce como arañas, mariposas, cangrejos, piojos, langostas, escarabajos, etc. Estas criaturas, clasificadas en cientos de miles de especies, constituyen el más vasto grupo o *filum* animal: comprende más del 75% de toda la población de las especies animales existentes en la Tierra.

Los artrópodos, a pesar de la diversidad de formas y dimensiones, comparten algunas características generales de la estructura. En griego, artrópodo quiere decir "patas articuladas"; de hecho, están dotados de miembros o apéndices pluriarticulados. La agilidad propia de estos apéndices y el alto grado de especialización conseguido por las diferentes especies han permitido a los artrópodos alcanzar una buena adaptación evolutiva. El desarrollo de los miembros de las arañas hasta convertirse en instrumentos capaces de tejer la red es un ejemplo del nivel técnico conseguido en el curso de la adaptación de los apéndices.

El cuerpo de los artrópodos está formado por diferentes partes, caracterizadas por la segmentación. En vez de insertar las estructuras esqueléticas en el interior del cuerpo, como hacen los vertebrados, los artrópodos las llevan en el exterior, como una especie de armadura, que tiene el nombre de *exoesqueleto*.

El desarrollo del exoesqueleto El exoesqueleto, o cutícula, está formado por un estrato externo y por otro interno denominados respectivamente *epicutícula* y *endocutícula*. La epicutícula es dura y cerosa y suministra el apoyo esquelético y la protección contra los depredadores. La endocutícula es un estrato blando y elástico que contiene una gran cantidad de quitina (polisacárido en el cual la molécula está compuesta por muchas moléculas de un derivado acetilamínico de la glucosa). Cuando la epicutícula ha quedado pequeña y está rígida, el artrópodo debe liberarse de ella durante las fases del crecimiento: primeramente digiere la propia endocutícula, formando en su lugar una película cerosa, más tarde se libera de la epicutícula. La nueva cutícula se endurece a través de un proceso de esclerotización o, en el caso de los artrópodos acuáticos, de calcificación; mientras la epicutícula se está endureciendo, el artrópodo controla las dimensiones del cuerpo ingiriendo agua o aire para hincharse como una pelota y mantener la forma hasta que esté lista la nueva coraza.

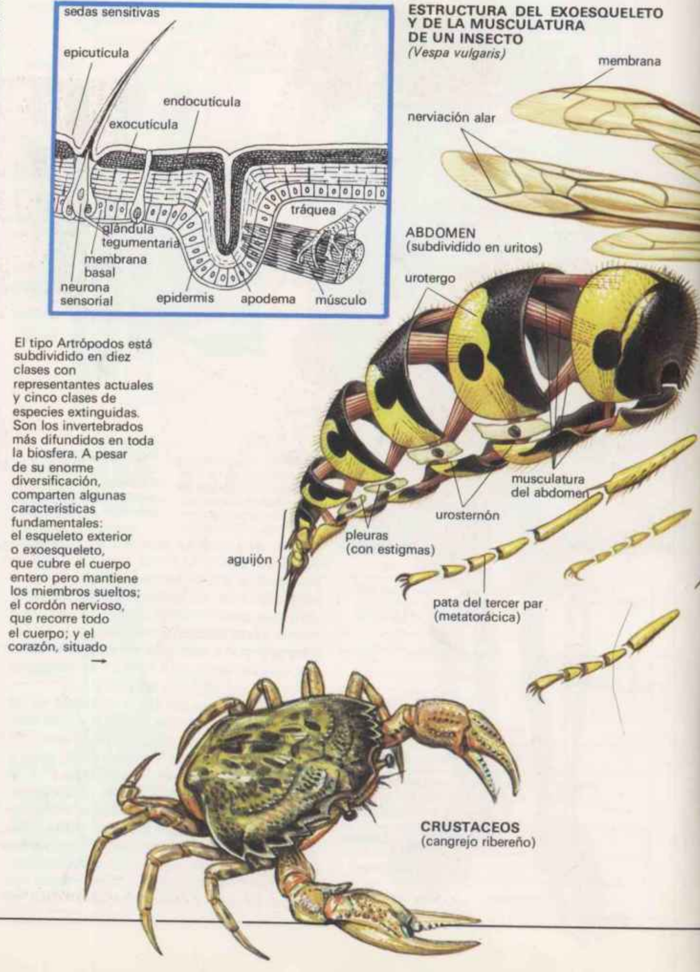
El exoesqueleto recubre cada uno de los segmentos corpóreos mediante placas situadas arriba, abajo y en los lados, denominadas respectivamente *terguitos dorsales*, *esternitos ventrales* y *pleuras laterales*. Estas placas pueden estar fijadas estrechamente a sus tejidos por debajo, o bien sobre ellos, por medio de músculos internos con función conectiva. Formaciones membranosas situadas entre una placa superior y la placa adyacente, o entre dos placas inferiores, están ligadas a músculos longitudinales que aseguran a las placas la posibilidad de un movimiento recíproco.

Debido a que el exoesqueleto no puede soportar un peso excesivo, los artrópodos terrestres han mantenido pequeños tamaños, pesando raramente más de algún gramo. Sin embargo, en el ambiente acuático, que garantiza una mejor sustentación, los artrópodos pueden alcanzar pesos de hasta seis kilogramos y medio, como en el caso del cangrejo gigante.

Sistema nervioso El sistema nervioso de un artrópodo está formado por un complejo ganglionar suprafaríngeo llamado *cerebrón* y una compleja red de células nerviosas normalmente asociadas para formar un grupo cefálico conocido como *ganglio subesofágico*. El centro sensorial está en general desarrollado y favorece la vista, el olfato y el tacto. La araña, por ejemplo, posee receptores táctiles muy sensibles que le avisan de cada tirón en los hilos de su tela y que le permiten distinguir entre los movimientos de una presa que intenta liberarse y los de una compañera que se acerca.

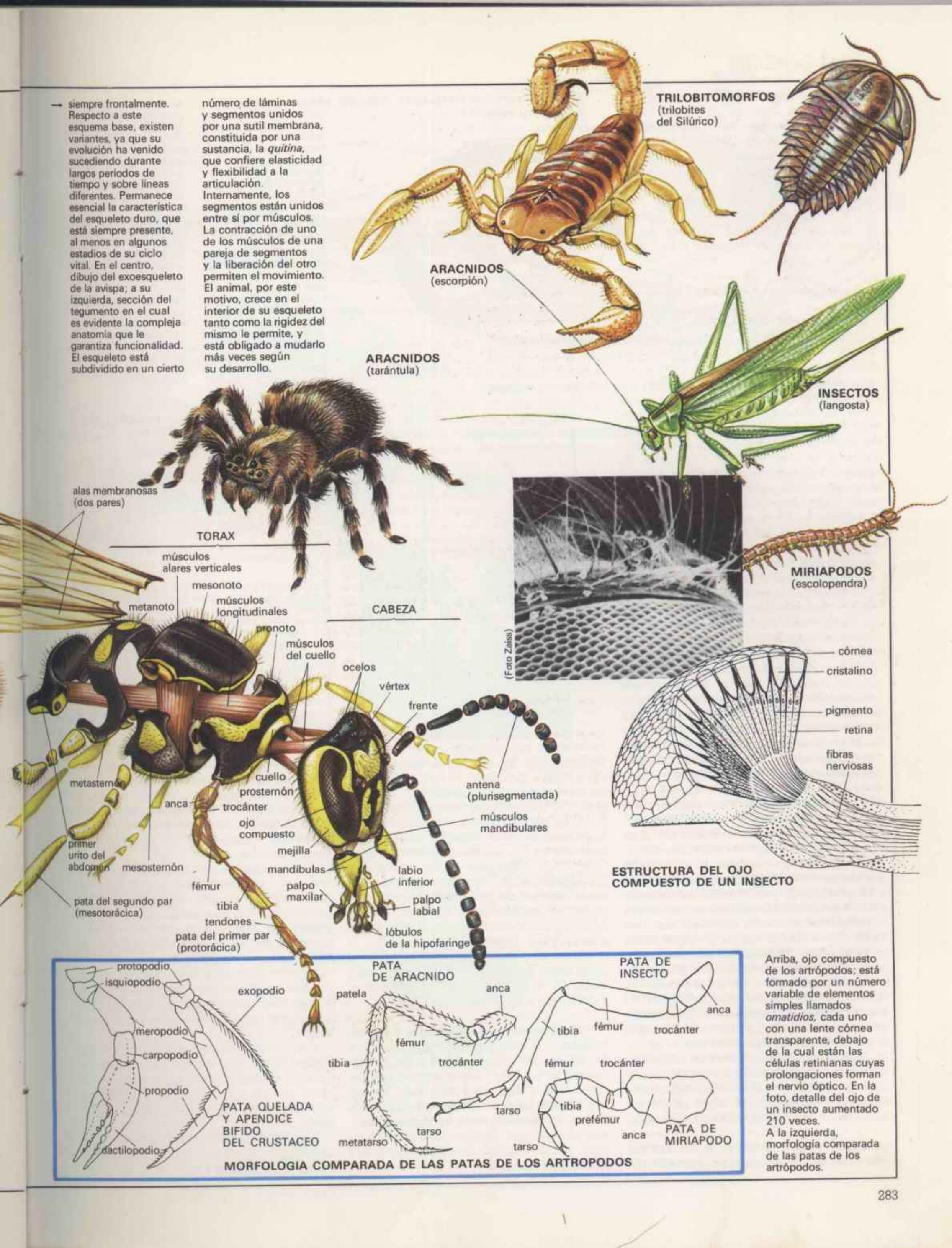
Organos internos Un único espacio o canal de alimentación desempeña las funciones de digestión, absorción y excreción.

Los científicos sostienen que originariamente la mayor parte de los artrópodos po-



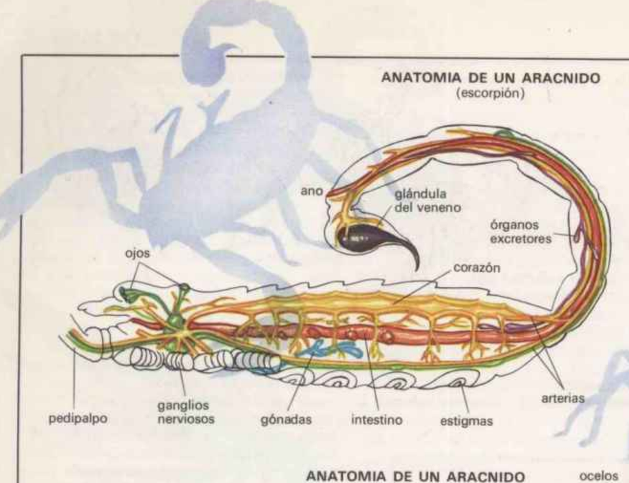
El tipo Artrópodos está subdividido en diez clases con representantes actuales y cinco clases de especies extinguidas. Son los invertebrados más difundidos en toda la biosfera. A pesar de su enorme diversificación, comparten algunas características fundamentales: el esqueleto exterior o exoesqueleto, que cubre el cuerpo entero pero mantiene los miembros sueltos; el cordón nervioso, que recorre todo el cuerpo; y el corazón, situado →

→ siempre frontalmente. Respecto a este esquema base, existen variantes, ya que su evolución ha venido sucediendo durante largos períodos de tiempo y sobre líneas diferentes. Permanece esencial la característica del esqueleto duro, que está siempre presente, al menos en algunos estadios de su ciclo vital. En el centro, dibujo del exoesqueleto de la avispa; a su izquierda, sección del tegumento en el cual es evidente la compleja anatomía que le garantiza funcionalidad. El esqueleto está subdividido en un cierto número de láminas y segmentos unidos por una sutil membrana, constituida por una sustancia, la *quitina*, que confiere elasticidad y flexibilidad a la articulación. Internamente, los segmentos están unidos entre sí por músculos. La contracción de uno de los músculos de una pareja de segmentos y la liberación del otro permiten el movimiento. El animal, por este motivo, crece en el interior de su esqueleto tanto como la rigidez del mismo le permite, y está obligado a mudarlo más veces según su desarrollo.



Arriba, ojo compuesto de los artrópodos; está formado por un número variable de elementos simples llamados *omatidios*, cada uno con una lente córnea transparente, debajo de la cual están las células retinianas cuyas prolongaciones forman el nervio óptico. En la foto, detalle del ojo de un insecto aumentado 210 veces.
A la izquierda, morfología comparada de las patas de los artrópodos.

ANATOMIA DE UN ARACNIDO
(escorpión)



Al lado, escorpión. Se pueden observar los gruesos pedipalpos, los quelíceros, el aguijón venenoso (en gris) y la anatomía interna (en color). Este animal pertenece al orden de los Arácnidos y tiene larga historia evolutiva: han sido encontrados escorpiones fósiles en rocas del Silúrico (hace 430 millones de años). El aguijón de que está dotado lo utiliza para matar las presas y con el objeto de defenderse. Las hembras de los escorpiones son ovovivíparas; las crías, apenas nacidas, trepan al dorso de la madre agarrándose gracias a las ventosas que llevan en sus patas. Aquí permanecen hasta que sufren la "primera muda", nutriéndose de las partes restantes del saco vitelino. El estadio adulto lo alcanzan después de seis o siete mudas, alrededor de un año más tarde. A la derecha, esquema de la morfología externa (en gris) e interna (en color) de un insecto alado adulto. En los dos bocetos del extremo derecho, apareamiento con "regalo nupcial" de dípteros del género *Filaria* y de arácnidos. El macho introduce en el abdomen de la hembra, inmovilizada por los quelíceros, el espermatóforo.

ANATOMIA DE UN ARACNIDO
(araña)

ganglios cerebrales · hígado · corazón · intestino · tubos de Malpighi · ocelos · ano · glándula del veneno · ciegos · saco pulmonar · ovario · glándulas sericígenas · hileras

CAMPO VISUAL DE UNA ARAÑA

ojos laterales posteriores · ojos laterales anteriores · ojos medianos anteriores

En las arañas (arriba), cabeza y tórax están unidos para formar el cefalotórax o prosoma. Los miembros locomotores son cuatro pares y los ojos son simples y no compuestos. Las funciones sensoriales están confiadas a unos pelos sensitivos especiales, careciendo de antenas. La región bucal está provista de quelíceros, detrás de los cuales se encuentran los pedipalpos con funciones táctiles y prensiles. La hembra coloca los huevos en un saco de seda del tipo de un capullo. A la izquierda, campo visual de la araña (no están representados los ojos medianos posteriores).

seía una amplia y única cavidad, que con el desarrollo de la musculatura de los apéndices ha ido subdividiéndose en espacios vasculares más pequeños. Un corazón segmentado en forma de tubo bombea la sangre a través de estos espacios (*hemocele*) a los demás órganos. En los artrópodos que usan los pulmones o los bronquios para respirar, la sangre (*hemolinfa*) contiene un pigmento —hemocianina— que tiene la misión de transportar el oxígeno a través del organismo. Este pigmento está ausente en los artrópodos que respiran directamente por la tráquea o a través de pequeños canales que se comunican con la superficie del cuerpo. Por medio de la respiración traqueal, el oxígeno del aire reacciona directamente con el pigmento de los tejidos llamado *citrocromo*. Algunos artrópodos, como por ejemplo las arañas, poseen ambos sistemas, pulmonar y traqueal.

Reproducción La mayor parte de los artrópodos presentan dos sexos diferentes, pero algunos lo tienen de un solo tipo y se reproducen mediante el desarrollo de un huevo no fecundado, según un proceso de partenogénesis. Otras formas no habituales de reproducción comprenden la formación de numerosos embriones de un solo huevo —poliembrionía— y la gestación de una prole viva —viviparismo—. En general, sin embargo, los artrópodos nacen en el exterior y de un solo huevo fecundado. La fecundación se verifica frecuentemente mediante la secreción de espermatóforos, es decir, de masas de espermatozoides preparados por el macho, que de diversas formas coinciden con los huevos.

En las arañas, el esperma es a menudo transferido directamente a la abertura genital de la hembra. Otros artrópodos depositan los espermatóforos en el terreno y conducen a la hembra sobre ellos.

Clasificación y función de los apéndices Todos los artrópodos usan algunos de sus pares de apéndices para caminar, pero varios apéndices se han especializado en órganos para alimentarse, respirar, reproducirse, percibir y otros usos específicos. La especialización de determinados apéndices ha sido utilizada como criterio para definir las dos subdivisiones, todavía vigentes, o *subphylum* de los artrópodos: los *Mandibulados*, es decir, aquéllos que están dotados de apéndices bucales que sirven de mandíbulas, y los *Quelicerados*, es decir, los dotados de apéndices bucales que sirven de pinzas (patas queladas).

Un tercer *subphylum* es el de los *Trilobitomorfos*, ya extinguidos, así llamados a causa de la subdivisión de los segmentos, a lo largo, en tres lóbulos.

Trilobitomorfos, Quelicerados y Mandibulados A menos que se vaya en busca de fósiles, hay pocas posibilidades de encontrar un trilobites. Estos animales tenían forma oval y eran exclusivamente acuáticos. Conocidos sobre la base de hallazgos fósiles, los trilobites están entre los artrópodos más antiguos, comparables sólo con un único pariente actual: la caracola de mar o el cangrejo-herradura.

Miembro de los Quelicerados, el cangrejo-herradura es el único que se nutre con alimentos sólidos, y está en un grupo de por sí estable, el de los Merostomas. Los otros ablandan los alimentos con enzimas digestivos y luego los absorben como si fuesen líquidos.

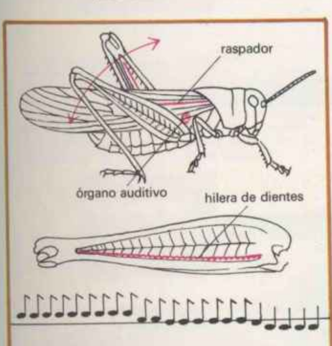
El cangrejo-herradura posee dos grandes ojos compuestos, altamente desarrollados, y otro par de ojos simples sobre el caparazón; tiene el cuerpo subdividido en dos partes que terminan en una gran cola en forma de espina. El cefalotórax lleva en el lado ventral cinco pares de apéndices ambulacrales (para la locomoción) y un par de *quelíceros* (apéndices preorales), en tanto que el abdomen tiene seis pares de finos apéndices que se fusionan en la línea media.

Otro grupo de los Quelicerados son los Euriptéridos, hoy extinguidos, llamados también *escorpiones de agua*. Estos se parecen mucho a sus parientes actuales, los de tierra, miembros del grupo de los Arácnidos.

Los Arácnidos comprenden también órdenes como los escorpiones, opiliones, araneidos y otros menos conocidos. Su carac-

ANATOMIA DE UN INSECTO

aorta
ingluvio
intestino
corazón
tubos de Malpighi (excretores)
cerebro
esófago
faringe
gnatencéfalo
buche
cadena ganglionar ventral
ciego gástrico
ano



RECLAMOS DE AMOR EN CODIGO

Algunos insectos tienen la posibilidad de atraer a su pareja mediante señales sonoras. Frotando las patas posteriores con los élitros, los machos de los saltamontes producen un sonido de invitación a la hembra. Los órganos timpánicos colocados en la parte interna del fémur están en contacto con el borde interno del ala, endurecido. El sonido producido es un motivo fijo que garantiza el reconocimiento entre dos individuos de la misma especie.

terística distintiva está representada por el cuerpo subdividido en dos partes y por la presencia de un par de apéndices, situados detrás de las pinzas, llamados *pedipalpos*, o miembros masticadores, que son utilizados para numerosos fines.

La araña tiene la característica —única entre los arácnidos— de poseer un estrecho elemento de conjunción entre las dos partes del cuerpo, llamado *pedúnculo*. Al contrario que los insectos, la araña posee ocho patas para caminar en vez de seis, y no posee antenas. La araña macho es el único caso conocido que usa sus propios pedipalpos con fines reproductivos. En un período de tiempo que va desde algún minuto a varias horas, carga los pedipalpos de espermatóforos y más tarde los coloca en el epigino de la hembra. Cuando la hembra libera los huevos, éstos pasan a través del epigino y se fecundan. Y es que el apareamiento es arriesgado para la araña macho: en algunas especies, la hembra carnívora lo devora como a una presa; en otros casos, el macho puede morir de cansancio poco después de la cópula.

Además de las mandíbulas a ambos lados de la cabeza, el *subphylum* de los Mandibulados se caracteriza por la presencia de *antenas*, más o menos desarrolladas y de morfología muy variada.

Los Crustáceos son Mandibulados marinos, de agua dulce o terrestres; comprenden, entre otros, la gamba, la langosta y el cangrejo de río. Los Crustáceos se distinguen por la presencia de un segundo par de antenas y de una estructura en forma de ala en la base de los miembros, el *epipodio*. Los Crustáceos, la única clase de artrópodos fundamentalmente acuática, comprenden también animales terrícolas como la cochinilla.

La clase de los Miriápodos comprende el ciempiés, la escolopendra y criaturas análogas, dotadas de muchísimos miembros, a veces denominados separadamente con los nombres de *Quilópodos*, *Diplópodos*, *Paurópodos* y *Sínfilos*.

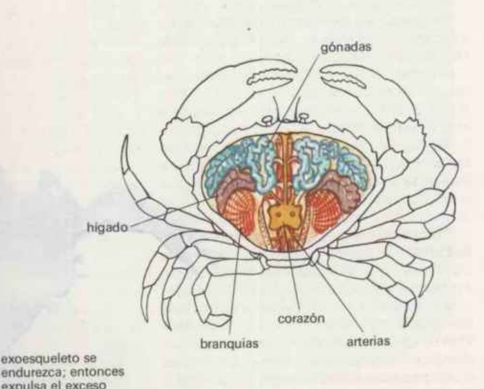
Los Insectos, otra clase de los Mandibulados, tienen una gran variedad y son los más numerosos. Constituyen más del 90% de todos los artrópodos, y están caracterizados por un cuerpo tripartito: cabeza, tórax y abdomen, y por la presencia de antenas. La mayor parte de los insectos posee alas, y sólo unos pocos están desprovistos de ellas, llamados por este motivo *Apterigotas*. Los insectos alados, o *Pterigotas*, son dos veces más numerosos que todas las otras especies animales juntas. El orden más extenso entre los Pterigotas es el de los Coleópteros, los cuales forman 1/4 de todas las especies animales descritas.

Los artrópodos tienen una importancia económica y ambiental enorme para el hombre. Los crustáceos, por ejemplo, constituyen una óptima fuente de alimentación; por el contrario, algunos artrópodos destruyen cosechas y son portadores de enfermedades. Otros resultan aliados del hombre al controlar las poblaciones de parásitos y al reciclar las sustancias nutritivas presentes en el suelo.

Los artrópodos, con sus funciones de depredadores y de presas, desarrollan un papel fundamental en la cadena alimentaria de la vida sobre la Tierra.

En esta exposición se han citado sólo algunos artrópodos, pero la clasificación —iniciada cientos de años atrás— y el estudio de los millares de especies están aún lejos de ser definitivos.

ANATOMIA DE UN CRUSTACEO



A la derecha, organización de la anatomía de un cangrejo del género de los *Carcinus*. El número de los segmentos del cuerpo de los Crustáceos es variable de una especie a otra. Los segmentos medianos del tórax están protegidos por un escudo dorsal, el caparazón, que tiene su origen en los segmentos cefálicos. Los apéndices segmentados de los Crustáceos son todos esencialmente bífidos. En el momento de la muda, la membrana entre el caparazón y el abdomen es desgarrada y el animal empieza a replegarse sobre sí mismo y a encorvarse lentamente para salir del esqueleto. Después absorbe toda el agua que le es posible, hinchándose, y espera que su nuevo exoesqueleto se endurezca; entonces expulsa el exceso de agua.

Véase **Crustáceos; Insectos**

Asbesto

La tecnología actual necesita productos capaces de soportar el fuego, el calor, la electricidad y el ataque de sustancias químicas. Por esa razón, algunos de los materiales más modernos están fabricados a base de una antigua sustancia mineral, el amianto o asbesto. El término *asbesto* es en realidad más genérico; se refiere a varias especies mineralógicas que tienen en común la propiedad de presentarse bajo la forma de fibras delgadas, suaves, flexibles, incombustibles y con bajas conductividades térmica y eléctrica. Estas delgadas fibras son utilizadas para fabricar materiales resistentes al fuego, al calor, a la corrosión química y a la corriente eléctrica.

Origen del asbesto Se distinguen dos tipos de asbesto: el *asbesto de serpentina*, representado por la especie mineralógica crisotilo (filosilicato de magnesio), y el *asbesto de anfíbol*, representado por las especies mineralógicas crocidolita, tremolita, antofilita, amosita y actinolita (silicatos de calcio de magnesio que a menudo contienen cantidades variables de hierro y sodio). Más del 90% del asbesto que se utiliza está constituido por crisotilo, que es más refractario que el asbesto de anfíbol, pero también más fácilmente atacable por soluciones ácidas o fuertemente alcalinas. El asbesto de serpentina o crisotilo se presenta bajo la forma de agregados fibrosos, blancos o amarillo-verdosos, en las fracturas de las rocas serpentinosas de las que se extrae. Se encuentran importantes yacimientos de asbesto en Canadá, Sudáfrica, Zimbabue, Unión Soviética, Estados Unidos, Yugoslavia y Australia.

Elaboración y utilización del asbesto Una vez extraído de la roca, el crisotilo puede ser fácilmente separado en fibras delgadas, semejantes a cabellos, pero cuya resistencia no está de acuerdo con su aspecto frágil y delicado.

El crisotilo y otros tipos de asbesto pueden resistir temperaturas de hasta 540 °C. El asbesto es casi inerte y soporta las modificaciones químicas derivadas de la herrumbre y otros tipos de corrosión. Además, tiene una gran resistencia dieléctrica, por lo que puede interrumpir fuertes corrientes, propiedad que le hace fundamental en los materiales utilizados en el aislamiento térmico y eléctrico, en los materiales incombustibles y en los procesos en los que se emplean compuestos químicos corrosivos.

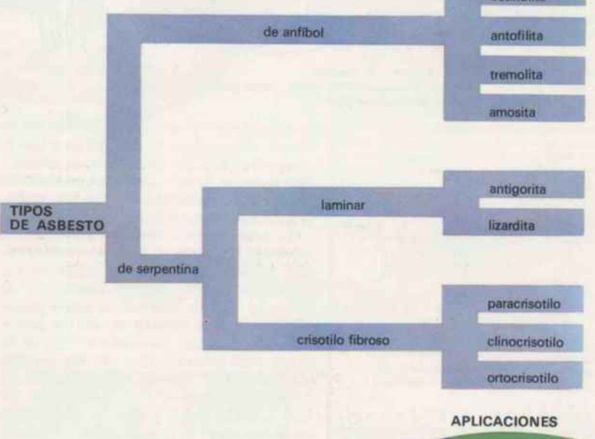
El asbesto, por lo tanto, encuentra una gran aplicación industrial; en particular, el de fibras largas (8 mm) se carda para preparar recubrimientos refractarios y filtros de varias clases, y también se hila y teje para obtener cuerdas, tejidos y cubiertas incombustibles. Este asbesto se teje también con algodón o hilos metálicos a fin de fabricar un fieltro utilizado para proteger superficies sometidas a altas temperaturas, como en los recubrimientos de frenos, de embragues y en pantallas térmicas (en aparatos tales como secadores y tostadores). El asbesto de fibras cortas (2-8 mm) se empasta con magnesita, cemento y distintos silicatos para obtener tubos y placas de gran aplicación en la construcción. Este último también se empasta con soluciones de silicato sódico o de resinas de silicona para obtener un material parecido al papel y utilizado como aislante térmico y eléctrico.

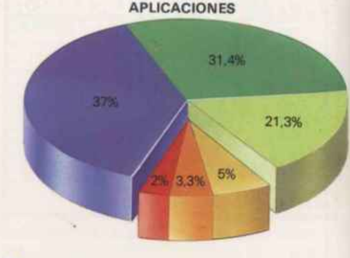
Peligros del asbesto Con todas estas aplicaciones, el asbesto puede ser considerado un material "prodigioso".

Sin embargo, desafortunadamente, el polvo microscópico de asbesto que se produce durante su elaboración, transporte y utilización representa un serio peligro para la salud. Una vez inspirada, la fibra de asbesto se fija para siempre en los pulmones, hiriendo el tejido pulmonar y causando la formación de tejido fibroso con la consiguiente aparición de un estado denominado "fibrosis". La *asbestosis* —fibrosis causada por el polvo de asbesto— es, en general, fatal y está relacionada con una gran incidencia de formas de cáncer pulmonar.

Considerando las distintas aplicaciones del asbesto, fuentes potenciales de producción y difusión de polvo de asbesto, se puede intuir el gran número de personas que diariamente están sujetas a los efectos nocivos de este material. Basta pensar en

El esquema inferior y el diagrama de sectores indican los dos tipos principales de aplicaciones del asbesto. El primero, que implica el mayor consumo cuantitativo, es el de la construcción. El segundo, por el contrario, es aquél en el que el producto final necesita las buenas cualidades térmicas y de inercia química del asbesto en bruto o sujeto a elaboraciones simples. Las aplicaciones en las que el asbesto es mezclado con otros materiales que lo engloban son las más seguras.





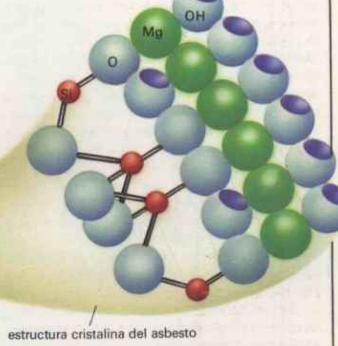


la gran cantidad de polvo de asbesto que se genera en las carreteras con los frenazos de los vehículos que circulan por ellas.

Por lo tanto, la situación es delicada, ya que el asbesto sigue siendo uno de los materiales más importantes de la industria. Por eso es de vital importancia extremar el control técnico aplicado a todas las fases de su elaboración, desde la extracción y el deshilado hasta las aplicaciones finales. Los actuales controles comportan distintas técnicas como la utilización de caretas, la humidificación y el filtrado del asbesto durante la extracción y la producción, la ventilación de las áreas en las que puede presentarse el asbesto en bruto, el embalaje de

MINAS DE ASBESTO EN EL MUNDO

Arriba, localización de las principales minas de asbesto del mundo. Abajo, a la izquierda, estructura microscópica del asbesto. El material, a simple vista, aparece fibroso: las fibras están dispuestas en haces paralelos y se separan con facilidad unas de otras; también pueden cardarse para después ser tejidas; muestran una estructura tubular como debida al arrollamiento de hojas delgadísimas (a la izquierda). En el centro, la cabeza de uno de esos arrollamientos: el esquema lo muestra todavía con estructura continua, pero la hoja y sus propiedades de flexión para arrollarse dependen de la disposición de los átomos que forman la estructura cristalina (a la derecha).



estructura tubular del asbesto

estructura cristalina del asbesto

las fibras de forma que no puedan difundirse en el aire y, finalmente, métodos para la fijación del asbesto en el material final, de forma que no pueda liberarse.

La solución integral del problema, sin embargo, deberá resultar de la adopción de varias precauciones. La primera debe ser adoptada en la mina, de forma que la extracción sea lo más mecanizada posible y los mineros estén protegidos contra la inhalación del polvo que inevitablemente se origina durante la extracción. Esas precauciones deben extenderse a una zona mucho más amplia que el propio interior de la mina; el polvo es incluso más peligroso cuanto más alejado está de la mina, porque a gran distancia únicamente llega el componente más fino. También deben tomarse precauciones en la fábricas donde se elabora o en aquéllas que aprovechan sus valiosas propiedades de incombustibilidad y aislamiento térmico y eléctrico para incorporarlo a ciertos productos, en las cuales es necesario que la mecanización del trabajo y el filtrado del aire eviten que los obreros respiren en ambientes contaminados y por tanto peligrosos. Finalmente, el producto a distribuir en el mercado debe ser tal, que no permita la pérdida de fibras de asbesto por encima de unos límites preestablecidos.

Véase **Incendios, lucha contra**

Ascensor

Un ascensor es básicamente un medio de transporte vertical entre los pisos de un edificio. Consiste en una cabina cerrada movida por cables que se arrollan a un tambor o polea accionado por un motor eléctrico y equilibrado por un contrapeso. El número de usuarios que se sirven de este medio de transporte es elevadísimo; como dato curioso podemos señalar que el número de personas que lo utilizan en el espacio de 15 días supera la población mundial. Todos los ascensores suponen soluciones a problemas de elevación de productos pesados. Todos los tipos están basados, de un modo u otro, en el principio del contrapeso en base al hecho de que el peso de un objeto puede usarse para equilibrar el peso de otro. Como ejemplo, si es difícil elevar 70 kg a la altura de un segundo piso usando un cable, es mucho más fácil hacerlo atando un segundo peso de 70 kg al extremo opuesto del cable e insertar entre ambos pesos unas poleas; el segundo peso, llamado *contrapeso*, equilibra el primero, que resulta fácilmente elevable; el contrapeso desciende cuando el peso sube y viceversa. En el sistema del contrapeso, el peso sobre el que se debe aplicar la fuerza de elevación no es igual al peso total a elevar, sino a la diferencia entre el peso del objeto y el del contrapeso. Ejemplos normales de contrapeso se pueden ver en los relojes de péndulo, en los viejos telares de guillotina, en algún tipo de ventanas y en los montaplatos.

En 1853 Elisha Graves Otis (1811-1861), reconocido como el padre del ascensor, expone su ascensor de muelle en el Crystal Palace Exposition de Nueva York. En su demostración, Otis subía en el ascensor por encima de los espectadores; cuando estaba suficientemente alto, ordenaba cortar los cables. Los espectadores, que esperaban ver estrellarse a Otis con su ascensor contra el suelo, veían sin embargo cómo la cabina quedaba inmóvil. El 23 de marzo de 1857, Otis instaló el primer ascensor comercial para personas en unos grandes almacenes de Nueva York. Este disponía de un pequeño motor de vapor que lo elevaba cinco pisos en menos de un minuto. Y en él Otis había instalado también una especie de regulador de velocidad. Se trataba de un dispositivo que regulaba mecánicamente la velocidad de una máquina, impidiendo que ésta fuera más rápida de una velocidad determinada. Este dispositivo se compone de un eje central que discurre a través de dos placas de metal, una en cada extremo. Una está fija y la otra puede deslizarse a lo largo del eje. Entre las dos placas hay dos parejas de barras de conexión móviles con un acoplamiento en el centro de cada pareja. En cada acoplamiento está sujeto un peso. Cuando el eje gira, hace girar también los pesos, que se desplazan hacia afuera por acción de la fuerza centrífuga. Cuanto más rápido gira el eje, más se alejan los pesos y, a medida que aumenta su distancia, trasladan la placa móvil hacia la fija. Como ésta no puede acercarse más que hasta un cierto punto a la fija, los pesos no pueden alejarse más del eje y de este modo el eje no puede girar más rápido. Según se sitúe el bloqueo, se puede variar la velocidad máxima de rotación. Otis aplicó este principio al ascensor.

Las versiones más modernas utilizan el movimiento de la placa móvil del regulador para actuar sobre un interruptor que corta la corriente del motor, a la vez que potentes "brazos" de metal agarran la rueda guía. (Por esto el ascensor se para siempre que algo no funciona; este sistema de seguridad no es ventajoso ante ciertas emergencias, como por ejemplo en caso de un incendio). A partir de 1889, desde que fueron instalados dos ejemplares en Nueva York, se extendieron cada vez más los ascensores eléctricos, actualmente de uso general en todo el mundo.

Los ascensores modernos Casi todos los ascensores modernos utilizan motores eléctricos para hacer girar el eje de la polea (algunos ascensores más antigüos se sirven de pesos para empujar la cabina por medio de una columna hidráulica).

La constante introducción de nuevos materiales, como los plásticos laminados y el acero inoxidable, ha transformado el aspecto de las cabinas, que tienen que tener además una altura mínima que asegure la comodidad de los pasajeros (unos 2 m). Las cabinas de los ascensores de pasajeros suelen equilibrarse mediante contrapesos que equivalen al peso de aquéllas en vacío más un 50% de su carga útil máxima. Con este contrapeso, formado por un conjunto de lingotes unidos sólidamente, se pretende reducir la potencia necesaria para elevar la cabina y proporcionar cierta aceleración que ayude a controlar la velocidad de descenso de la misma. En nuestros días, la mayoría de los ascensores son accionados por motores reductores, que los hacen mover a velocidades de 120 a 150 metros por minuto. Naturalmente que si un elevador que se mueve a esta velocidad se detuviera bruscamente, los pasajeros se caerían al suelo; por esto, a lo largo del recorrido del ascensor están situados unos interruptores, uno por cada piso, que ralentizan esta velocidad cuando la cabina va a alcanzar el punto de parada elegido. Hay también otros interruptores que abren las puertas cuando el ascensor se para.

Pero sin duda el aspecto que más ha evolucionado en los complejos mecanismos de funcionamiento de un ascensor ha sido el referente a los sistemas de control. Controles a base de pulsadores de empuje o de tacto, instalados en la cabina y en los pisos, aceleración y deceleración automáticas y la demanda constante de una mayor velocidad han conducido a los sistemas de control unificado, que proporcionan el servicio más rápido posible, minimizando el promedio de tiempo de desplazamiento.

Convencionalmente se dice que un ascensor es "lento" cuando la velocidad de ejercicio es inferior a 0,4 m/s; "veloz" cuando la velocidad supera los 1,2 m/s, y "normales" y "semiveloces" cuando las velocidades son intermedias entre las dos mencionadas. En el campo de las altas velocidades se han alcanzado los 7 m/s (como en el rascacielos de la RCA, en Nueva York); los límites en este sentido se imponen por los efectos fisiológicos que pueden provocar sobre el organismo humano la fuerte aceleración y las rápidas variaciones de presión.

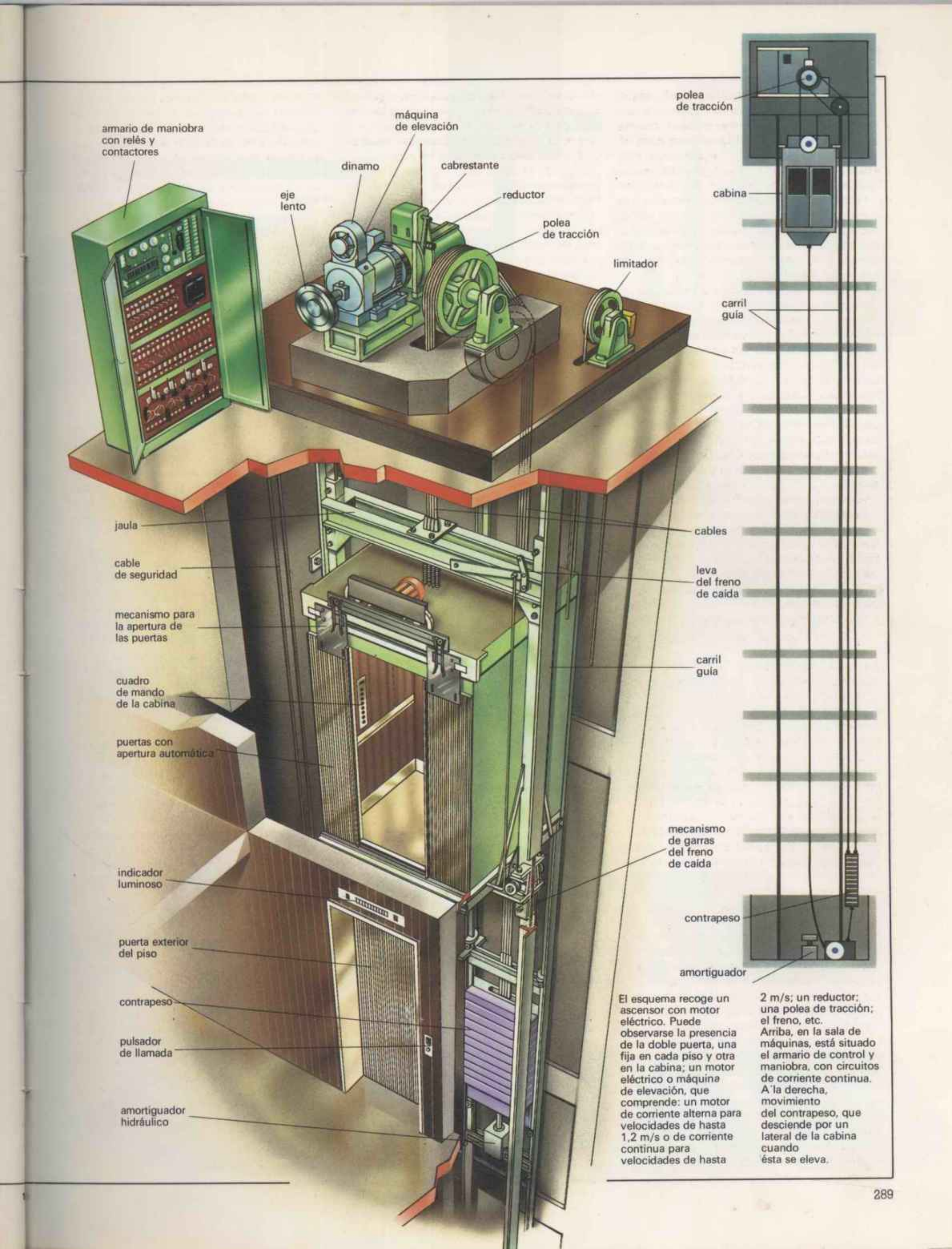
Actualmente están en uso dos sistemas de maniobra: la maniobra "automática individual" o "universal" y la maniobra "registrada colectiva selectiva". Con la primera el ascensor responde a un solo mando cada vez, exactamente al primero que se ha pulsado antes de que se ponga en movimiento. En cambio, con la maniobra colectiva selectiva, todas las órdenes, tanto si proceden de la propia cabina como de los diferentes pisos, son "registradas" operándose después una selección de órdenes en el sentido de que se satisfacen no en el orden en que han sido impartidas, sino en aquel en que se van sucediendo los pisos según el sentido de la marcha de la cabina. En muchos sistemas se ahorra tiempo iniciando la secuencia de envío inmediatamente después de que los pasajeros hayan dejado de entrar o salir de la cabina.

Dispositivos de seguridad Todos los ascensores están provistos de dispositivos de seguridad que impiden su puesta en marcha en caso de maniobras equivocadas (apertura de puertas, carga excesiva, etc.), o bien accionan frenos de emergencia en el caso de la rotura de los cables o cuando la velocidad supere un límite prefijado. En caso de rotura del cable, actúa un mecanismo de seguridad, llamado *paracaídas*, mediante el cual se disparan unas zapatas que apretándose a las guías del ascensor lo van parando progresivamente. Estas zapatas de frenado (activadas por un cable conectado al regulador de velocidad dispuesto en el cabrestante) actúan también cuando la velocidad de una cabina descendente exceda de un valor prefijado. En el fondo de los pozos de todos los ascensores se colocan amortiguadores hidráulicos o elásticos que disminuyen la violencia del choque de la cabina o contrapeso cuando caen a la velocidad de desplazamiento normal prescrita por el regulador.

En muchas instalaciones modernas hay dispositivos para controlar el peso de la cabina cargada; si el mecanismo de pesaje detecta una sobrecarga, los circuitos de arranque no funcionan y la cabina permanece inmóvil.

Por último, el mecanismo que regula la apertura de las puertas, accionado por un motor eléctrico, está controlado por un sistema de enclavamientos de seguridad y por los botones de mando de la cabina y de los pisos. Los enclavamientos vuelven a abrir las puertas si no pueden cerrarse del todo por culpa de una obstrucción e impiden su apertura mientras la cabina está en movimiento.

Véase **Escalera mecánica**



El esquema recoge un ascensor con motor eléctrico. Puede observarse la presencia de la doble puerta, una fija en cada piso y otra en la cabina; un motor eléctrico o máquina de elevación, que comprende: un motor de corriente alterna para velocidades de hasta 1,2 m/s o de corriente continua para velocidades de hasta 2 m/s; un reductor; una polea de tracción; el freno, etc. Arriba, en la sala de máquinas, está situado el armario de control y maniobra, con circuitos de corriente continua. A la derecha, movimiento del contrapeso, que desciende por un lateral de la cabina cuando ésta se eleva.

Asfalto

Si no existiera el asfalto, el mundo actual sería ciertamente distinto. Las extensas e intrincadas redes de carreteras y autopistas, que forman un verdadero armazón en las naciones modernas, están pavimentadas casi todas con asfalto o con una mezcla a base de asfalto.

Estudiando las civilizaciones antiguas, se ha descubierto que el asfalto ya era utilizado en Oriente Medio hace cinco mil años para pavimentar los caminos y para unir los bloques de piedra o adobe empleados en las construcciones.

El *asfalto* es una mezcla de sustancias minerales e hidrocarburos de distinta consistencia y diferente peso molecular, entre 400 y 5.000 uma, generalmente de tipo alifático, y cuya estructura es muy variable y no bien determinada todavía hoy. Tiene las propiedades de un material de ligazón, razón por la cual los antiguos constructores lo utilizaron. Sucesivamente, y debido siempre a sus características de material de unión, el asfalto sería utilizado para consolidar el pavimento de las carreteras mezclándolo con guijarros y rocas desmenuzadas.

En la Antigüedad, el asfalto llamó pronto la atención de los hombres, ya que se encontraba en cuencas, en venas o depósitos naturales procedentes de la filtración hacia el exterior del asfalto fluido existente en el interior de la corteza terrestre.

En la actualidad, la fuente natural de asfalto más rica es el lago de asfalto llamado La Brea, en la isla de Trinidad, descubier-

entrada del petróleo bruto
destilación del petróleo bruto
residuos pesados
destilación al vacío
instalación para los lubricantes
gasolinas y combustibles
aceites lubricantes
ceras
betún mineral

En el esquema superior, proceso de producción del asfalto. Actualmente, la mayor parte del asfalto procede de betunes minerales residuales de la destilación fraccionada del petróleo. Los elementos ligeros siguen un camino ascendente que no se indica en este esquema. En una segunda operación de destilación, esta vez en el vacío, se recuperan otros elementos, uno de los cuales es el betún asfáltico, a partir del cual se fabrica el asfalto. El betún asfáltico se presta a muchas aplicaciones, como por ejemplo la impermeabilización de los oleoductos en sus tramos subterráneos. Sin embargo, su aplicación más difundida es su empleo, mezclado con gravilla, en la pavimentación de carreteras. En la foto de la izquierda vemos el lago de asfalto de La Brea, en isla Trinidad.

A la derecha, las distintas fases en las cuales se obtienen varios materiales que aprovechan las óptimas propiedades del asfalto: su gran flexibilidad e impermeabilidad. En la página siguiente, a la izquierda, puede verse la pavimentación de la pista de un aeropuerto; en el centro, la cubierta impermeabilizante de una terraza, y abajo, actuando como barrera y cola entre cartones.

TIPOS DE ASFALTO Y PORCENTAJES DE PRODUCCION	PROCESOS DE ELABORACION	PROPIEDADES	APLICACIONES
de primera destilación 70-75%	destilación o precipitación con disolvente	corrimiento casi viscoso	carreteras, pistas para aeropuertos
insuflación de aire 25-30%	reacción con el aire a 205-315 °C	resistencia; viscosidad menos sensible a los cambios de temperatura que la de los asfaltos de primera destilación	techos, revestimiento de tuberías, pinturas, revestimientos subterráneos, laminados de papel
craqueo 5%	calentamiento a 438-550 °C	corrimiento casi viscoso; viscosidad más sensible a los cambios de temperatura que la de los asfaltos de primera destilación	saturación de cartones aislantes, revestimientos contra el polvo

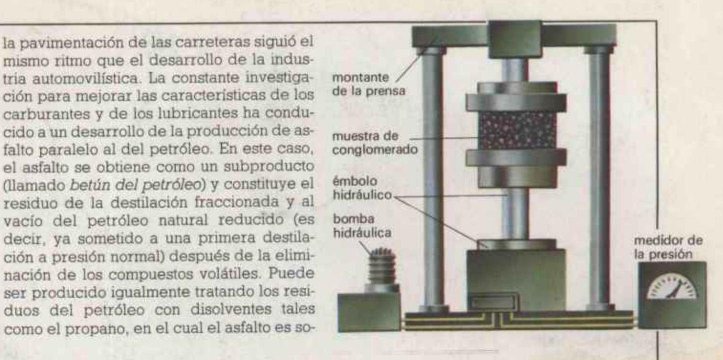
to por sir Walter Raleigh. El asfalto es muy blando en el centro del lago y los científicos opinan que es alimentado continuamente por una fuente subterránea. Antes de ser extraído del lago, el asfalto se rompe en bloques. En las sucesivas fases de refinado el producto natural pierde alrededor de un tercio de su peso; ello se consigue calentándolo y eliminando el gas y el agua de la emulsión original, que contiene también arena y arcilla. El asfalto de isla Trinidad refinado funde a los 87,8 °C. Los geólogos estiman que este lago contiene de 10 a 15 millones de toneladas de asfalto.

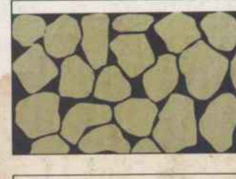
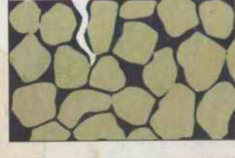
Otro importante depósito de asfalto del tipo pez es el del lago Bermúdez, que tiene una superficie de más de 4 km^2 y una profundidad media de 1,5 metros. Probablemente también este lago está alimentado por una fuente subterránea. A lo largo de la orilla el material es lo bastante sólido como para permitir a una persona caminar por encima de él. El producto refinado funde entre 54,4 °C y 60 °C.

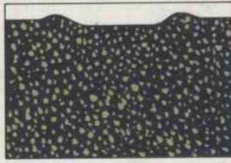
En varios países, y en particular en Francia, Grecia, Unión Soviética y Estados Unidos, existen también depósitos naturales de asfalto, que generalmente se encuentran cerca de yacimientos petrolíferos.

Una variedad del asfalto está constituida por la *asfaltita*, material muy fosforoso y que funde con dificultad. Las asfaltitas se dividen en tres grupos: gilsonita, pez brillante y grahamita. Las principales diferencias físicas entre estas sustancias son el peso específico y el punto de reblandecimiento.

El aumento en el empleo del asfalto para la pavimentación de las carreteras siguió el mismo ritmo que el desarrollo de la industria automovilística. La constante investigación para mejorar las características de los carburantes y de los lubricantes ha conducido a un desarrollo de la producción de asfalto paralelo al del petróleo. En este caso, el asfalto se obtiene como un subproducto (llamado *betún del petróleo*) y constituye el residuo de la destilación fraccionada y al vacío del petróleo natural reducido (es decir, ya sometido a una primera destilación a presión normal) después de la eliminación de los compuestos volátiles. Puede ser producido igualmente tratando los residuos del petróleo con disolventes tales como el propano, en el cual el asfalto es soluble, o bien extraído de residuos ácidos derivados de los tratamientos efectuados con productos pesados destilados del petróleo para la obtención de aceites lubricantes. Ese asfalto obtenido artificialmente del petróleo se denomina *asfalto de pirogenación*, y constituye aproximadamente el 99% del asfalto consumido.



La granulometría de la grava que se utiliza en la preparación de la capa asfáltica tiene una gran importancia para determinar las propiedades mecánicas y de resistencia de la misma. En primer lugar, es importante conocer las fracciones de sustancias volátiles que han quedado en el alquitrán, ya que determinan el punto de reblandecimiento al calor. Después, hay que preparar una mezcla de grava gruesa y fina que evite las grietas que se forman cuando toda la grava es gruesa (arriba) o el corrimiento cuando es toda fina (abajo). Con un acoplamiento correcto de grava gruesa y fina se consigue una deformación tolerable. Las propiedades de la capa asfáltica pueden medirse en el laboratorio sobre muestras cilíndricas sometidas a la presión de una prensa hidráulica (arriba).





Aplicaciones Dadas sus características físicas, el asfalto tiene múltiples aplicaciones. Se empleó mucho en la Antigüedad para construcciones e impermeabilización; y es indispensable para la civilización moderna. A continuación resumiremos algunos de sus principales usos.

• *Pavimentación*: es la aplicación principal. Las técnicas actuales de preparación del *macadam* asfáltico permiten obtener unos firmes resistentes al tránsito, al desgaste y a la acción de los agentes atmosféricos.

• *Impermeabilización*: los asfaltos de tipo soplado, a los que se ha inyectado aire, se emplean en la impermeabilización de tejados, terrazas, cartonajes, etc. También se emplean para recubrir superficies que han de estar en contacto continuo con el agua, como pueden ser los cascos de los buques y embarcaciones, así como todo tipo de construcciones hidráulicas.

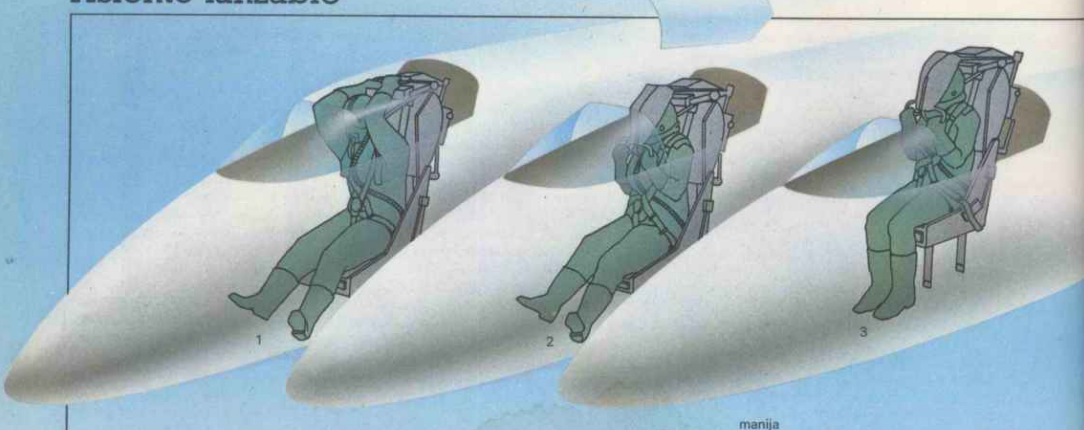
• *Adhesivo*: el asfalto caliente o en disolución o emulsión se emplea como adhesivo de materiales de construcción, materiales porosos, etcétera.

• *Pintura*: el asfalto disuelto en naftas o gasolina se utiliza como pintura por su bajo precio y larga duración.

• *Protección química*: el asfalto se utiliza también en la protección de depósitos que deben contener productos corrosivos diluidos. Su resistencia química no es muy elevada, pero su bajo precio lo hace muy adecuado y rentable para este tipo de usos.

Véase **Autopistas y carreteras; Cemento**

Asiento lanzable



Los problemas creados por la necesidad de que el piloto y la tripulación abandonasen aviones militares debido a averías durante el vuelo se hicieron acuciantes al principio de la II Guerra Mundial.

Los alemanes fueron los primeros en enfrentarse al problema, proyectando asientos que, mediante cargas explosivas, pudieran catapultar al piloto fuera de la cabina. Hicieron experimentos con dos tipos de asientos lanzables con cargas de propulsión que disparaban el asiento y el piloto, atado éste con cinturones, fuera de la cabina. Las primeras pruebas se llevaron a cabo en 1940 y en seguida se tropezó con el problema de determinar la aceleración máxima que podía soportar el cuerpo humano en el momento del lanzamiento. La aceleración se mide en g's, siendo 1 g's el valor de la aceleración de la gravedad terrestre. Así, un hombre de 68 kg bajo una aceleración de 2 g's está sometido a una fuerza o peso igual al doble de la de su cuerpo en condiciones normales, y a 20 g's tendría que soportar una fuerza equivalente a un peso de 1.360 kg. Los experimentos alemanes demostraron que un hombre puede soportar una aceleración, durante el lanzamiento, de 18-20 g's, con una duración de 1/100 de segundo. También se comprobó que, disponiendo de soportes para los brazos, se podían resistir aceleraciones mayores, ya que algo del peso de la parte superior del cuerpo era soportado por éstos, reduciendo la compresión de las vértebras, que empezaban a aplastarse irreversiblemente para valores superiores a 28 g's.

Límites de la aceleración Debido a que las fuerzas desarrolladas después del lanzamiento son muy intensas, es necesario que el cuerpo humano esté en la posición óptima para soportarlas. Tiene que estar firmemente sujeto, con las extremidades atadas para evitar que sean castigadas por la fortísima corriente de aire que las golpea un instante después del lanzamiento. Las cargas utilizadas para la propulsión de los asientos tienen que estar calculadas con

A la derecha, un asiento lanzable del tipo que se instala en los veloces aviones de caza. Sin embargo, es útil sólo para velocidades subsónicas y su uso a velocidades mayores puede ser mortal. Utilizado convenientemente, el piloto goza de la máxima protección, ya que, como se ve en la secuencia de funcionamiento (arriba y en la página siguiente), el primer movimiento que hace el piloto es tirar de las asas, con lo que baja delante de su cara la visera que lo protegerá del impacto del aire y de posibles restos de la cúpula de la cabina (1); al tirar de las asas se provoca el lanzamiento del asiento. En (2) se ve cómo se desengancha el techo de la cabina y se levanta por la fuerza del viento: asiento y piloto tienen el camino libre. Para la salida (3) el piloto encoge las piernas y el asiento se dispara hacia arriba. En (4), ya en el aire, el paracaídas pequeño frena y estabiliza el asiento y el piloto baja en esta posición (5) hasta una altura prefijada de antemano en un dispositivo interior; al llegar a esa altura (6), el piloto se separa automáticamente del asiento y se produce una secuencia que extrae y despliega el paracaídas principal (7). En (8) el piloto, con el paracaídas completamente abierto, continúa su descenso normal.

manija de lanzamiento superior

paquete del paracaídas

atalajes del paracaídas

hebilla de desenganche de equipo auxiliar

asa inferior de lanzamiento

botella de oxígeno

asa de desenganche rápido de emergencia

mando manual del paracaídas

ataduras para las piernas



1.100 km/h, que es el umbral de la barrera del sonido. La secuencia de la expulsión está controlada, de forma totalmente electrónica, por un ordenador. Después de haber accionado las palancas de la expulsión, el piloto no tiene que ocuparse de más. Una catapulta impulsada por un cohete empuja el asiento (con el piloto firmemente sujeto por los brazos, las piernas y la cabeza) a lo largo de dos carriles de guía, lanzándolo fuera del avión a través del techo de plástico de la cabina, roto por el golpe del extremo superior del asiento. Simultáneamente un sistema de emergencia empieza a porporcionar oxígeno al piloto. Cuando el asiento alcanza el extremo de los carriles, se activa un segundo motor cohete que hace que el asiento suba con una velocidad de 13 metros por segundo y una aceleración de 14 g's.

En el momento en que el asiento está en el exterior, un pequeño cohete de control, dirigido por un giroscopio y situado debajo del asiento, mantiene el ángulo de la trayectoria, y se despliega un pequeño paracaídas para estabilizar el vuelo y el frenado. Otro paracaídas de mayor tamaño hace que el piloto tenga un aterrizaje seguro.

Véase **Aviónica**

precisión, de forma que no se sobrepase el máximo valor de aceleración soportable. Actualmente se emplean cargas de tipo cohete para que la aceleración sea progresiva y el piloto pueda resistirla con menor riesgo de lesiones físicas.

Experimentos estadounidenses posteriores a la II Guerra Mundial analizaron también los resultados posibles con sistemas de lanzamiento neumático, en los que el propulsor está constituido por aire comprimido. Se desarrollaron también dispositivos que protegían la cara de los pilotos para velocidades superiores a los 480 km/h. El uso combinado de máscara de oxígeno, gafas de protección y casco era adecuado para este fin, pero los mejores resultados se obtuvieron con casco y visera rígida, que se han convertido en el equipo habitual. En esa búsqueda se probaron sistemas que encerraban completamente al piloto en una envoltura protectora antes de la expulsión. En otras ocasiones se expulsaba toda la cabina o toda una sección del avión nada más detectar automáticamente una avería irreparable debida a un fallo mecánico o al fuego enemigo.

El ACES-II El sistema más avanzado de expulsión automática usado actualmente, llamado *ACES-II* (*Advanced Concept Ejection Seat-II*), fue desarrollado por la Aeronáutica Militar estadounidense y producido por la Douglas-Aircraft Company. Los asientos tipo ACES-II se instalan en los cazas F-15 A/B, en los F-16 A/B y en los A-10. Estos asientos, resultado de casi cuarenta años de investigación y pruebas, son eficaces y tecnológicamente complejos. El ACES-II está pensado para velocidades de vuelo desde cero (al nivel del suelo) a los

Aspiradora

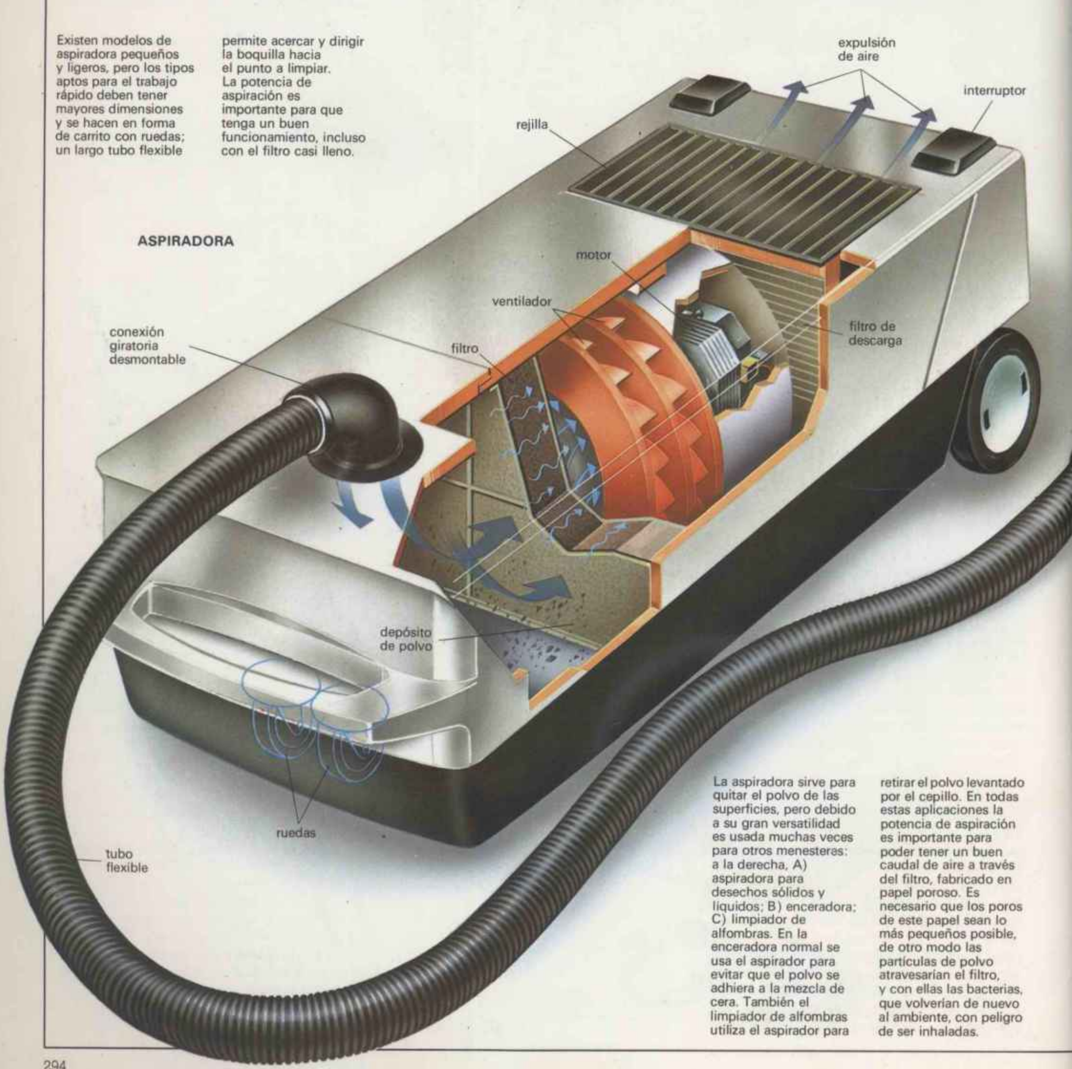
La aspiradora es uno de los aparatos de mayor éxito en la historia de los instrumentos que economizan tiempo. No sólo ha sido uno de los primeros frutos de la tecnología de los electrodomésticos, sino que su diseño básico original era tan perfecto que sólo ha necesitado pequeñas modificaciones desde su invención, en 1904.

Con la aspiración, la aspiradora elimina el polvo y los residuos secos (hilos, papeles, serrín, pelos, etc.) del suelo, alfombras, paredes y otras superficies difícilmente limpiables con una escoba. Las aspiradoras funcionan con energía eléctrica (por esta razón no deben usarse fuera de casa o sobre superficies mojadas, a no ser que estén especialmente diseñadas para ello). Un ventilador con motor, situado en el cuerpo de la máquina, aspira el aire de la superficie sucia. Las partículas de suciedad y de polvo son arrastradas por la corriente de aire y recogidas en una bolsa-filtro nada más entrar al cuerpo de la máquina.

Como la potencia de aspiración se reduce cuando la bolsa está casi llena, ésta debe ser vaciada o sustituida para conseguir un buen funcionamiento. Las de tela deben ser vaciadas, y las de papel reforzado, sustituidas cada vez que sea necesario. El aire, después de atravesar el filtro, sale de la máquina a través de una abertura situada en la parte posterior de la cubierta que proteje el motor. Las primeras aspiradoras tenían forma vertical y todavía se construyen de este tipo. De hecho, son las mejores para limpiar alfombras gruesas.

En esta aspiradora vertical la bolsa-filtro se encuentra encima del bastidor del ventilador, con un ángulo variable entre 45° y 90°. Agarrándolo por una empuñadura que está en la parte superior, se maneja empujándolo hacia adelante y atrás sobre el

Existen modelos de aspiradora pequeños y ligeros, pero los tipos aptos para el trabajo rápido deben tener mayores dimensiones y se hacen en forma de carrito con ruedas; un largo tubo flexible permite acercar y dirigir la boquilla hacia el punto a limpiar. La potencia de aspiración es importante para que tenga un buen funcionamiento, incluso con el filtro casi lleno.



La aspiradora sirve para quitar el polvo de las superficies, pero debido a su gran versatilidad es usada muchas veces para otros menesteres: a la derecha, A) aspiradora para desechos sólidos y líquidos; B) enceradora; C) limpiador de alfombras. En la enceradora normal se usa el aspirador para evitar que el polvo se adhiera a la mezcla de cera. También el limpiador de alfombras utiliza el aspirador para retirar el polvo levantado por el cepillo. En todas estas aplicaciones la potencia de aspiración es importante para poder tener un buen caudal de aire a través del filtro, fabricado en papel poroso. Es necesario que los poros de este papel sean lo más pequeños posible, de otro modo las partículas de polvo atravesarían el filtro, y con ellas las bacterias, que volverían de nuevo al ambiente, con peligro de ser inhaladas.

Abajo, algunos accesorios típicos de una aspiradora moderna. Se trata de una prolongación; también, cepillos para levantar el polvo, que después será recogido; finalmente, el tubo de boca estrecha, con el que se aumenta la velocidad del aire y se pueden retirar cuerpos más pesados.



suelo o la alfombra. Un modelo más portátil tiene una envolvente horizontal pegada al suelo, con ventilador y filtro, un tubo flexible y las boquillas. El tubo flexible está unido a las boquillas por medio de piezas acoplables de tubo de aluminio, que permiten al operador regular la longitud de la empuñadura. La mayoría de las personas prefiere la empuñadura aproximadamente a la altura de la cintura. Esta es una forma muy cómoda, y la ligereza, delgadez y elasticidad del tubo flexible permiten limpiar en espacios reducidos o de difícil acceso. Las piezas auxiliares o accesorios varían: los destinados a limpiar alfombras son grandes y tienen fuertes cerdas.

Algunos de los modelos de aspiradora más recientes para limpieza a fondo de alfombras tienen cepillos giratorios desmontables. Los accesorios para limpiar suelos lisos tienden a ser más pequeños, y sus cerdas, suaves. Para limpiar ángulos y esquinas se utiliza un accesorio largo y fino sin cepillo. Las boquillas también se pueden conectar a la salida del aire. En general, estos accesorios sirven también para quitar el polvo de los muebles y están provistos de pelos largos y suaves. El accesorio para los ángulos puede usarse además para succionar la suciedad de los rincones y del interior de los automóviles. En los modelos más recientes, se enciende un piloto luminoso cuando el filtro ha de ser sustituido.

Los modelos portátiles se pueden poner en marcha pulsando un interruptor en la empuñadura o presionando con el pie otro situado en la cubierta del motor. Los modelos más perfeccionados tienen dos motores, uno mueve el ventilador en el interior del cuerpo y el otro hace girar el cepillo en las boquillas para alfombras.

Véase **Instalaciones eléctricas**

Aspirina

Si se pudiesen amontonar los millares de toneladas de comprimidos de aspirina consumidos todos los años en el mundo, se podría cubrir enteramente una montaña. Aunque no posea la propiedad de curar definitivamente ninguna enfermedad, la aspirina es un analgésico, o un calmante, muy eficaz y es el fármaco más utilizado para tales fines.

Composición *Aspirina* es el nombre comercial del ácido acetilsalicílico, un ácido débil que en 1899 comenzó a ser utilizado como calmante

Generalmente la aspirina se encuentra en las farmacias en forma de pastillas de 80 a 650 miligramos, pero también existe en forma de cápsulas y supositorios de 60 a 1.200 miligramos.

Algunas veces la aspirina se asocia a la cafeína, medicamento este último muy difundido como remedio contra el dolor de cabeza antes de que fuese utilizada la aspirina. Este fármaco puede irritar la mucosa del estómago y, por ello, a menudo se asocia a un antagonista (el bicarbonato sódico), el cual, dentro de ciertos límites, neutraliza la acidez de la aspirina. La utilización de neutralizadores de los ácidos más potentes (como, por ejemplo, el gluconato de aluminio y el carbonato de magnesio) como antagonistas de la aspirina ha suscitado varias controversias. Estas sustancias tienen la finalidad de acelerar la absorción de la aspirina por parte del organismo, incrementando la velocidad de disolución del fármaco en los fluidos gastrointestinales y, por esta misma razón, aumentando la velocidad de transferencia hacia la circulación sanguínea. Sin embargo, algunos científicos sostienen que los antagonistas, aumentando el pH, incrementan la ionización de la aspirina y, por consiguiente, disminuyen el ritmo de absorción, anulando la ventaja inicial obtenida con la rápida disolución. Otros preparados contienen aspirina asociada a acetaminofén o fenacetina, que son otros dos analgésicos o calmantes. No ha sido posible, sin embargo, demostrar que tales asociaciones sean más eficaces que cada fármaco utilizado por separado.

Eficacia Durante mucho tiempo, de hecho hasta 1971, no se conoció el mecanismo de acción preciso de la aspirina. El dolor, según nuestros conocimientos actuales, se produce por la irritación, inflamación, entumecimiento o daño celular que estimulan las terminaciones nerviosas. Las prostaglandinas, todavía no completamente conocidas por los científicos, son sustancias similares a las hormonas en tanto que se encuentran implicadas en los procesos químicos y eléctricos del organismo. Las prostaglandinas son mensajeros químicos que actúan localmente sobre los músculos, sobre las terminaciones nerviosas, sobre los vasos sanguíneos y sobre otras funciones del organismo. Cuando las terminaciones nerviosas son estimuladas por las prostaglandinas, los mensajes son enviados al cerebro, el cual registra la sensación como dolor. La aspirina disminuye poderosamente o puede incluso prevenir la formación de las prostaglandinas, con el consiguiente resultado de que no se envía ningún mensaje al cerebro, o bien que el mensaje enviado es mucho menos intenso.

La aspirina es también un potente antipirético o reductor de la fiebre. No hace descender, sin embargo, la temperatura normal del organismo. El fármaco actúa sobre el hipotálamo, la estructura cerebral encargada de la regulación de la temperatura corporal y que mantiene equilibradas la producción de calor por el organismo y su eliminación. En los estados febriles, el hipotálamo continúa funcionando como un termostato, pero a una temperatura superior a la normal. La aspirina, como todos los salicilatos, interviene readaptando a la normalidad el termostato hipotalámico, por lo que la producción de calor permanece elevada, pero se incrementa también su dispersión mediante un aumento del flujo sanguíneo en la periferia y un incremento de la sudoración.

Debido a que la aspirina es capaz de reducir también la inflamación, se utiliza casi siempre para el tratamiento de los pacientes afectos de fiebre reumática y de artritis reumática, ya que ambas enfermedades son causa de inflamación y dolor en las articulaciones. Por otro lado, la aspirina posee utilidad en el tratamiento pediátrico del síndrome de Bartter, una enfermedad inhibidora del crecimiento, en la cual se ha detectado una hiperproducción de las prostaglandinas renales.

La aspirina, tan eficaz contra el dolor, el malestar y la fiebre, puede tener efectos colaterales desagradables y nocivos.

Algunas personas experimentan ligeros vértigos, zumbido de oídos, náuseas o sensación general de depresión tras la ingestión de aspirina. El fármaco también posee la propiedad de actuar sobre las plaquetas de la sangre, provocando una disminución de la capacidad de estas pequeñas células para agregarse o aglutinarse. Este fenómeno es irreversible y permanece durante toda la existencia de las plaquetas afectadas. Dicho efecto inhibe la coagulación y prolonga la duración de las hemorragias. Por todo ello, no se debería administrar aspirina a los hemofílicos ni a las personas afectas de hemorragias o con heridas que sangran abundantemente. Queda, además, prohibido ingerir aspirinas a los pacientes que próximamente deben ser sometidos a



Arriba, un comprimido de aspirina con la fórmula del ácido acetilsalicílico, su principal componente. El comprimido se ingiere por vía oral y penetra en el aparato digestivo; desde aquí pasa a la sangre, y esto permite al ácido acetilsalicílico distribuirse y alcanzar los lugares en los cuales se desarrollará su actividad farmacológica. Esta sustancia es un ácido y, aunque débil, puede dar lugar a efectos perjudiciales en el aparato digestivo; por ello, a veces se asocia a una base débil que neutralice el efecto ácido del fármaco.

el ácido prostanoico, que no existe en la Naturaleza, es el esqueleto estructural de las prostaglandinas

intervenciones quirúrgicas, durante la semana que precede a la operación.

Como la aspirina es un medicamento que estimula la respiración, su administración a sujetos asmáticos puede conducir a hiperventilación. Las dosis excesivas pueden causar hemorragias en el tracto gastrointestinal, y en casos extremos, coma y la muerte.

Aplicada en condiciones adecuadas y en sus justas dosis, la aspirina es eficaz sin originar grandes riesgos. Al contrario que muchos otros fármacos, raramente provoca reacciones alérgicas. La dosis habitual para un adulto es de 600 miligramos, con una oscilación entre los 300 y los 900 miligramos. Por lo general, los médicos prescriben que las dosis se administren a intervalos de 4 horas, con un máximo no superior a los 4 gramos por día para un adulto. La eficacia máxima del fármaco se tiene a los 90 minutos de su ingestión.

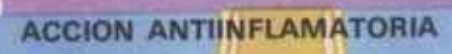
Las dosis pediátricas están en proporción al peso del niño y deben ser establecidas en cada caso por un pediatra.

ACCION ANTIPIRETICA



Una vez introducida en la circulación sanguínea después de haber sido absorbida por la pared del intestino, la aspirina atraviesa la barrera hemato-encefálica y actúa sobre el hipotálamo, donde desarrolla su efecto antipirético. En el hipotálamo convergen precisamente las informaciones y desde aquí se propagan las acciones que determinan la fiebre; el mecanismo de la termorregulación se ve alterado, por acción de la aspirina, en el sentido de producir un descenso de la temperatura. La aspirina actúa sobre las órdenes que determinan la sudoración, el escalofrío, la erección del pelo y, sobre todo, en los mecanismos que regulan el calibre de los vasos sanguíneos.

ACCION ANTIINFLAMATORIA





Una aplicación típica de la aspirina la encontramos en la reducción de la inflamación y en el tratamiento del reumatismo. En los casos de artritis reumatoide se observa la presencia de prostaglandinas, sustancias de la familia de las hormonas. Estas sustancias también están presentes en las personas sanas, pero en menor dosis (esta información se pone de manifiesto en el prisma transparente, abajo a la izquierda). En el sujeto enfermo, la vaina sinovial se altera: áreas oscuras en forma de vellosidades, en la imagen de la izquierda; la aspirina inhibe la formación de prostaglandinas y por consiguiente disminuye la inflamación y el dolor.

ACCION ANTICOAGULANTE

El ácido acetilsalicílico actúa también sobre las plaquetas de la sangre: durante todo su ciclo vital, estas células verán disminuida su capacidad para coagular la sangre. Este efecto del fármaco ha de ser tenido siempre en cuenta, pero muy especialmente se considerará el caso de los pacientes que deben ser sometidos a una próxima intervención quirúrgica, por si existiese algún peligro de hemorragia (a la izquierda de estas líneas, pérdida de sangre de un vaso y coagulación sucesiva). Sin embargo, este efecto es beneficioso en los casos de riesgo de trombosis. Dado que este padecimiento es debido a un coágulo sanguíneo, el impedir la formación del mismo significa prevenir la trombosis.

tasa de prostaglandinas en el líquido sinovial

estado inflamatorio

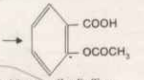
estado normal

ACIDO ACETILSALICILICO (ASPIRINA)

FORMULA: CH_3COO-COOH
PESO MOLECULAR: 180,15
PUNTO DE FUSION: 137 °C
CARACTERISTICAS: polvo blanco, cristalino, inodoro o de olor débil, de sabor ligeramente ácido

PREPARACION

Del ácido salicílico por acetilación con anhídrido acético (en solución de ácido acético y en presencia de ácido sulfúrico que actúa como catalizador).



Véase **Analgésicos**

Asteroide

El día 1 de enero de 1801, un astrónomo italiano, el sacerdote Giuseppe Piazzi, descubrió lo que él consideraba ser "un planeta ausente", cuya existencia había sido supuesta por dos astrónomos alemanes, J.K. Titius y Johann Bode: se trataba del primero y más grande entre los *asteroides*, una especie de planeta de pequeñas dimensiones a menudo designado con el nombre de *planetoide*. Piazzi lo bautizó con el nombre de Ceres y fue capaz de seguirlo hasta el 11 de febrero, día en que cayó enfermo. No había revelado su descubrimiento a ninguno de sus colegas, y Ceres desapareció detrás del Sol, bautizado pero desconocido, tan sólo con algunas anotaciones sobre su posición.

El hecho de que Piazzi buscase un planeta ausente muestra cómo la teoría matemática y la práctica de la observación directa se dan la mano para desvelar los secretos del Universo. En 1766 Titius había trabajado en una fórmula que habría de ser perfeccionada y publicada posteriormente por Bode en 1772. Actualmente se la conoce como ley de Bode y puede ser escrita en forma de tabla:

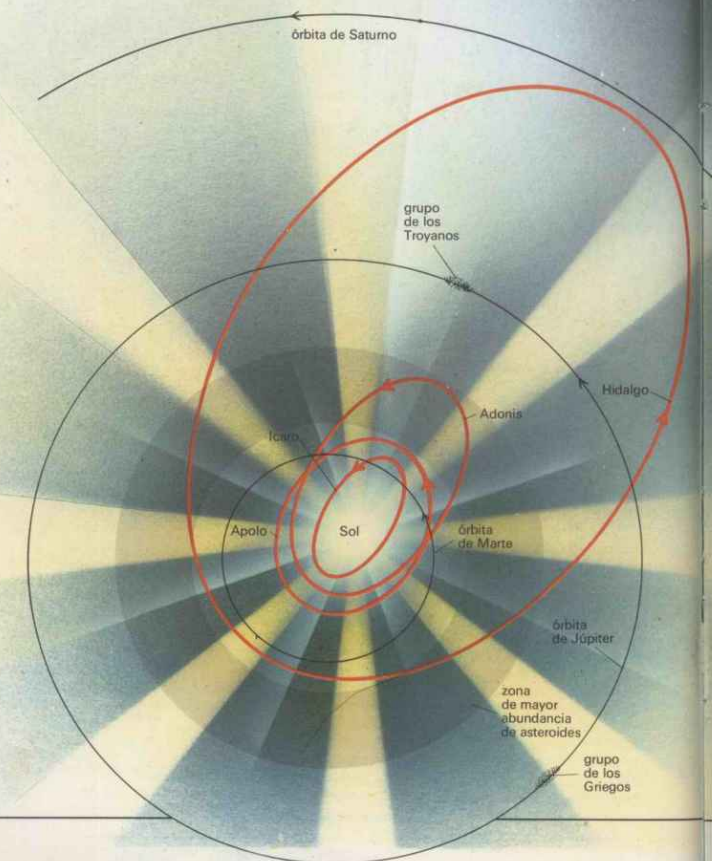
Mercurio	4	0	0,4
Venus	4	3	0,7
Tierra	4	6	1
Marte	4	12	1,6
?	4	24	2,8
Júpiter	4	48	5,2
Saturno	4	96	10

La primera columna presenta los planetas conocidos en los tiempos de Bode (el punto interrogativo representa el supuesto nuevo planeta) según su distancia al Sol. Los dos primeros datos colocados a la derecha de cada planeta son, respectivamente, una constante, 4, y los términos de una simple serie matemática, 0, 3, 6, 12 y así sucesivamente; la suma de estos dos valores, dividida por diez, da los números dispuestos en la tercera columna, que son aproximaciones de la distancia media de las órbitas elípticas de los planetas respecto del Sol expresadas en unidades astronómicas (UA), o sea, en magnitudes de distancia media de la órbita de la Tierra al Sol (las distancias reales son 0,39 0,72 1,00 1,52 2,9 5,2 9,54). Puesto que no existía ningún planeta correspondiente al valor de 2,8 UA, los científicos comenzaron a preguntarse si no habría un planeta "escondido" y todavía no localizado que orbitase a esa distancia (unos 416 millones de kilómetros).

Hacia finales del siglo XVIII el barón Franz Xaver von Zach, un astrónomo alemán, reunió a un numeroso grupo de colegas para la búsqueda sistemática del planeta que faltaba. Con la ayuda de mapas astrales que indicaban todas las estrellas conocidas de cierta luminosidad y magnitud, comenzaron a sondear sectores del cielo. Como todos los otros planetas, también el que faltaba habría debido aparecer como un cuerpo en movimiento frente a las estrellas lejanas que aparecen prácticamente quietas, ya que los cálculos demostraban que habría debido moverse a una velocidad de aproximadamente medio minuto de arco (1/120 de grado) por hora. Sin embargo, por desgracia, ninguno de los astrónomos del barón tuvo la fortuna de dar con el nuevo planeta. Tal honor estaba reservado para Piazzi.

Aunque puede parecer mala suerte el hecho de que Piazzi hubiese "perdido" Ceres sin anunciar su descubrimiento, esa falta tuvo después una consecuencia positiva, puesto que convenció a Karl Friedrich Gauss (1777-1855) para desarrollar un sistema general que todavía hoy es utilizado para calcular órbitas de cuerpos celestes de nueva aparición con datos matemáticos muy escasos. Usando el sistema de Gauss, von Zach y Heinrich Olbers habían definido al año siguiente la órbita de Ceres. La distancia media de su órbita al Sol resultó ser de 2,9 UA, una décima mayor que el valor calculado por Titius-Bode. Tres meses más tarde Olbers descubrió otro planetoide, al que llamó Palas, en honor de la diosa griega de la sabiduría, Palas Atenea. Siguieron otros descubrimientos: el de Juno, localizado en 1804 por Karl Harding, y el de Vesta, descubierto por Olbers en 1807.

Las órbitas de todos estos asteroides que se encuentran entre Marte y Júpiter son similares, y se pensó que debían ser los restos de un único gran planeta que se habría fragmentado en cuerpos más pequeños. Hoy se cree que el planeta en vez de morir no llegó a nacer, es decir, que los asteroides son como el "aborto" de un planeta que, tal vez por la perturbación gravitatoria de Júpiter, no llegó a constituirse en una masa única y coherente. Los estudios realizados sobre las órbitas de estos astros han demostrado que éstas son muy distintas a las de los planetas principales. Cuando se habla de órbitas, los científicos se refieren a cinco *elementos orbitales*, de los que sólo dos nos interesan aquí. Uno de éstos es la *excentricidad* de la órbita, un dato que expresa su mayor o menor elipticidad (es decir, la relación entre los diámetros máximo y mínimo de la órbita); el segundo es la *inclinación* de la órbita, es decir, el ángulo que forma el plano de la órbita con el plano de la órbita terrestre. En general, las órbitas de los primeros cuatro asteroides descubiertos tienen una excentricidad más



que el doble de la de los planetas y una inclinación cinco veces superior.

No se descubrió ningún otro asteroide hasta 1845, cuando K. L. Hencke localizó un planetoide al que bautizó con el nombre de Astrea, pero a partir de 1890 han sido descubiertos cerca de trescientos. Aunque la mayoría de estos cuerpos se hallan entre Marte y Júpiter, también hay asteroides repartidos por todo el Sistema Solar. En el año 1891 se empezó a utilizar intensivamente la fotografía para la observación del cielo, y un nuevo instrumento, el *comparador*, hizo posible confrontar dos fotografías del mismo sector de cielo tomadas a horas distintas o incluso con varios días de diferencia. Cuando está equipado con un espejo montado axialmente, el instrumento recibe el nombre de *comparador de aleteo*, ya que su ocular puede pasar rápidamente de una a otra película. Las estrellas del fondo permanecen fijas, mientras que cualquier asteroide en movimiento puede ser rápidamente identificado por la diferencia de sus posiciones cuando las dos fotos aparecen alternativamente en el ocular.

Uno de los asteroides más interesantes es Eros, descubierto por el alemán G. Witt en 1898. Eros es un cuerpo escuálido y rocoso, en forma de ladrillo, con unos 24 kilómetros de longitud y 8 de anchura. Cada treinta años aproximadamente se acerca a 22,4 millones de kilómetros de la Tierra. Otros planetoides que viajan bastante cerca de la Tierra (en términos astronómicos) son Amor y Apolo, que en el año de su descubrimiento, 1932, se acercaron hasta 16 y 11,2 millones de kilómetros respectivamente. En el año 1937 Karl Wilhelm Reinmuth, del Observatorio de Koenigstuhl, en Alemania, descubrió el asteroide Hermes, que originó gran aprensión cuando en enero de 1938 fue observado a "sólo" 776.000 km de nuestro planeta.



Véase **Cometa**





En la página anterior, posición de las órbitas de algunos asteroides en el Sistema Solar. La mayoría gira alrededor del Sol en órbitas comprendidas entre la de Marte y la de Júpiter. Sin embargo, algunos poseen órbitas muy elípticas. Arriba, probable aspecto de un pequeño asteroide, es decir, con un diámetro de algunas decenas de kilómetros. Tiene forma irregular y está cubierto de cráteres originados por el choque con asteroides y meteoritos.

Sobre estas líneas dos técnicas para la búsqueda fotográfica de los asteroides: a la izquierda, el telescopio "fija" las estrellas, que aparecen como puntos, en tanto que el asteroide se mueve durante la exposición y aparece como un trazo luminoso; a la derecha, el telescopio recorre el cielo a la velocidad del asteroide y las estrellas aparecen "movidas" mientras que el asteroide se muestra como un punto fijo.

Astrofísica

En el año 1666 Isaac Newton formuló una explicación de los colores que aparecían al pasar un rayo de luz solar a través de un prisma de vidrio, que coinciden con los del arco iris. Sin saberlo, acababa de establecer las bases de la Astrofísica —rama de la más antigua de las ciencias, la Astronomía—, que, encaminada al estudio de las propiedades físicas de los cuerpos celestes (composición, temperatura, reacciones químicas, etc.), ha permitido mejorar nuestro conocimiento del Universo, su origen y evolución.

En los siglos XVI y XVII, Copérnico, Kepler y Galileo habían demostrado que la Tierra y los demás planetas del Sistema Solar giraban alrededor del Sol, y Newton había deducido las leyes fundamentales que constituirían el núcleo de la Física durante doscientos años; a pesar de esos progresos, el conocimiento que el hombre tenía del Universo —resultado de una continua y meticulosa observación del cielo— estaba limitado por el precario desarrollo de las técnicas de observación, quedando aún por resolver las preguntas iniciales: ¿Desde cuándo brillan el Sol y las estrellas? ¿Son éstas "otros soles"? ¿Cuál es el origen de su energía? ¿De qué están constituidas? ¿A qué distancia se encuentran?

La imposibilidad de tomar muestras de la atmósfera estelar para su estudio en el laboratorio y la incapacidad de repetir a pequeña escala fenómenos cuya duración es de cientos de millones de años hacen que las técnicas de trabajo de la Astrofísica recurran a métodos indirectos de medida que, utilizando la información que constantemente nos llega desde el espacio, permiten profundizar en el conocimiento de los cuerpos celestes.

La espectroscopia, una valiosa herramienta Ya en la Antigüedad se conocía la propiedad de los cristales tallados de producir destellos multicolores al ser iluminados, pero fue Newton el primero en comprender que estos colores eran el resultado de la descomposición de la propia luz solar. Al conjunto de los colores obtenidos al hacer pasar un rayo de luz a través de un prisma —violeta, índigo, azul, verde, amarillo, naranja y rojo— lo denominó *iris* o *espectro*. Pero tuvieron que pasar muchos años antes de que se encontrara una aplicación práctica del espectro luminoso.

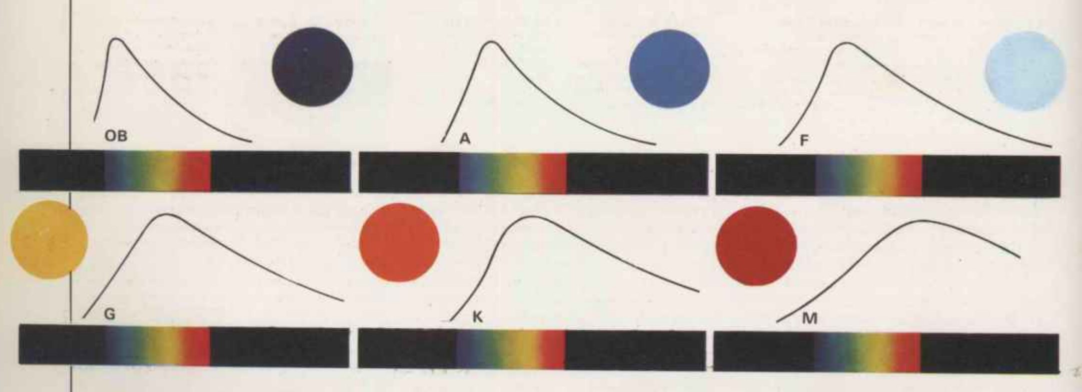
En el año 1814, el óptico Joseph von Fraunhofer repitió el experimento utilizando prismas de gran calidad que daban imágenes muy nítidas, apreciando que el espectro estaba interrumpido, en numerosas ocasiones, por pequeños intervalos oscuros (espectro de absorción), llegando a localizar hasta setecientas de esas franjas.

Al poco tiempo, otros científicos alemanes, R. Wilhelm Bunsen (inventor del mechero que lleva su nombre) y Gustav Kirchoff, utilizando en vez de luz solar la emitida por una sustancia incandescente, obtuvieron una serie de líneas brillantes sobre un fondo negro (espectro de emisión). Repitiendo el experimento con otras sustancias, observaron que el número de líneas y su distribución eran distintos para cada una de ellas, hecho que llevó al astrónomo J. Herschel en 1823 a sugerir la posibilidad de identificar cada gas por su espectro, del mismo modo que se identifican las personas por sus huellas dactilares.

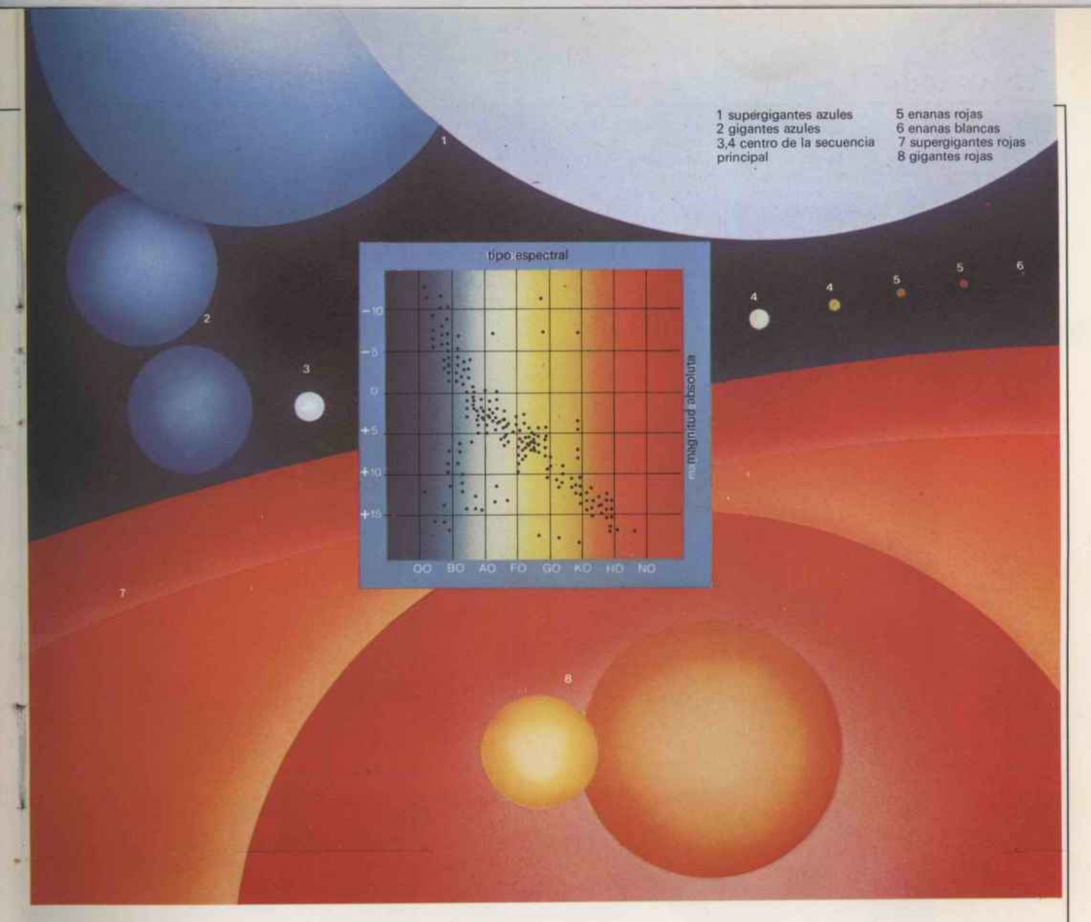
Las observaciones clave para relacionar las líneas negras de absorción encontradas por Fraunhofer con las líneas brillantes de emisión las realizó Kirchoff en 1859, encontrando que, para el mismo gas, las posiciones de las líneas negras del espectro de absorción coincidían con las brillantes de su espectro de emisión, confirmando las afirmaciones de Herschel y sentando las bases del *análisis espectroscópico*, que permitiría a los astrofísicos obtener una gran cantidad de informaciones sobre los elementos que constituyen las estrellas. Desde entonces se han identificado más de 30.000 rayas importantes en el espectro solar.

En 1862, un astrónomo sueco, Anders Ångströn, utilizó un espectroscopio para descubrir la presencia de hidrógeno en el Sol. Algunos años después, Pierre Jansen, mientras examinaba el espectro del Sol durante un eclipse, encontró una brillante raya espectral amarilla que no había sido identificada antes; el astrónomo inglés Joseph Lockyer intuyó que la misteriosa raya provenía de un elemento hasta entonces desconocido, al que llamó "helio", de la palabra griega *helios*, que significa "sol". Cuando aproximadamente treinta años después se encontró dicho elemento en la Tierra, quedó demostrado de forma contundente la validez del análisis espectral.

Telescopios ópticos Mucho tiempo antes de los primeros logros de la espectroscopia, el hombre se había acercado al espacio con otro instrumento: el telescopio. Aunque de origen holandés, fue Galileo quien lo dio a conocer al mundo. Inicialmente, bastante rudimentario: se trataba de un anteojo en el que la luz procedente de las estrellas y planetas, después de atravesar una lente, llegaba directamente al ojo del observador a través del ocular (*telescopio refractor*); aunque supuso un gran avance, la imagen obtenida distaba de ser nítida, por lo que Newton, para eliminar el borde coloreado con que aparecía la imagen formada por la lente, sustituyó ésta por un espejo cóncavo que enfocaba la luz sobre un ocular (*telescopio reflector*). Con el paso del tiempo se fueron fabricando telescopios cada vez mejores, y los astrónomos pudieron llegar más lejos en la obser-



La base de estudio en Astrofísica es el análisis de la luz de las estrellas, y se realiza con el espectroscopio. Este instrumento permite la identificación de los elementos químicos que componen el gas estelar y posibilita la identificación de su estado físico. El color de una estrella depende de su temperatura, y ésta puede determinarse calculando la banda del espectro en que la intensidad es máxima. Sobre estas líneas pueden verse las curvas de intensidad luminosa en el espectro visible para cada uno de los tipos de estrellas según la clasificación de Secchi. Los colores varían desde el violeta, estrellas muy calientes (50.000 °C) hasta el rojo, estrellas frías (2.500 °C). Las estrellas más calientes se encuentran en la clase O, mientras que las más frías se agrupan en la clase espectral M.



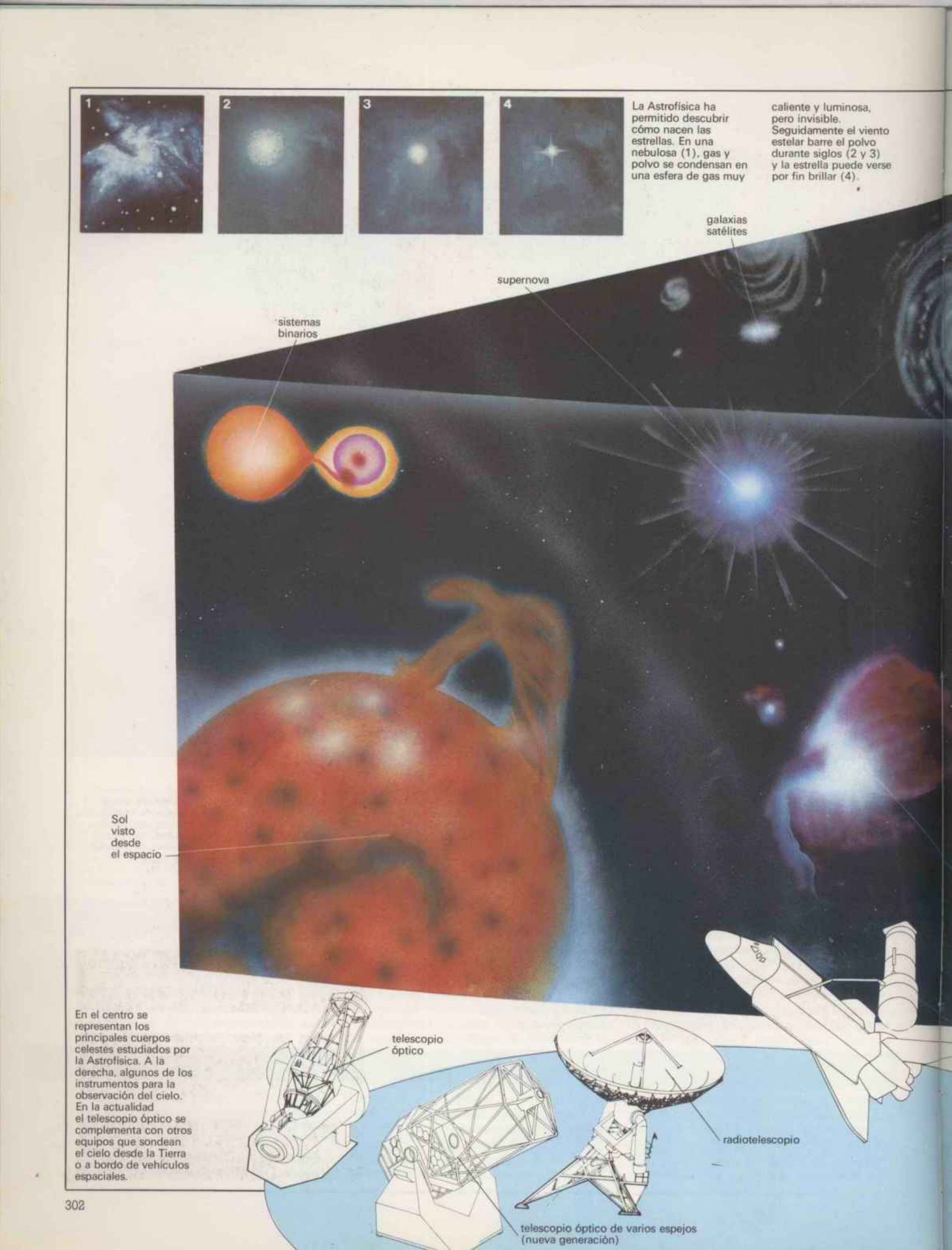
A principios del siglo pasado, Secchi agrupó las estrellas en varias clases atendiendo a su distribución espectral. Posteriormente, se pudo observar que las diferentes clases espectrales se solapaban hasta formar un todo continuo, encontrándose una estrecha relación entre la clase espectral de una estrella y sus otras características físicas. En el centro, diagrama de Hertzsprung-Russell, que relaciona espectros y magnitudes absolutas. Las estrellas están representadas por puntos que en su mayor parte se encuentran alrededor de una diagonal, denominándose estas estrellas "de secuencia principal". En la parte superior derecha se encuentran las "supergigantes", y en la inferior izquierda, las "enanas blancas". Alrededor del diagrama están representados, en forma de esferas coloreadas, los distintos tipos de estrellas que dan una idea de sus dimensiones relativas y de su color.

vación del Universo. Actualmente el telescopio reflector más grande del mundo es el telescopio Hale, en el observatorio de Monte Palomar (California), cuyo espejo tiene un diámetro de 5 metros. Inaugurado en 1948, tiene un poder de aumento de un millón de veces y una sensibilidad que le permitiría distinguir la llama de una vela a casi 2.000 km de distancia, penetrando el espacio hasta unos 2.000 millones de años-luz (20.000 trillones de km).

La dependencia que los telescopios ópticos tienen de las condiciones meteorológicas y la limitación que supone la atenuación del haz luminoso al atravesar la atmósfera están siendo salvadas en la actualidad mediante el uso de instrumentos embarcados a bordo de satélites y en grandes globos que pueden permanecer varios días a unos cuarenta kilómetros de altura.

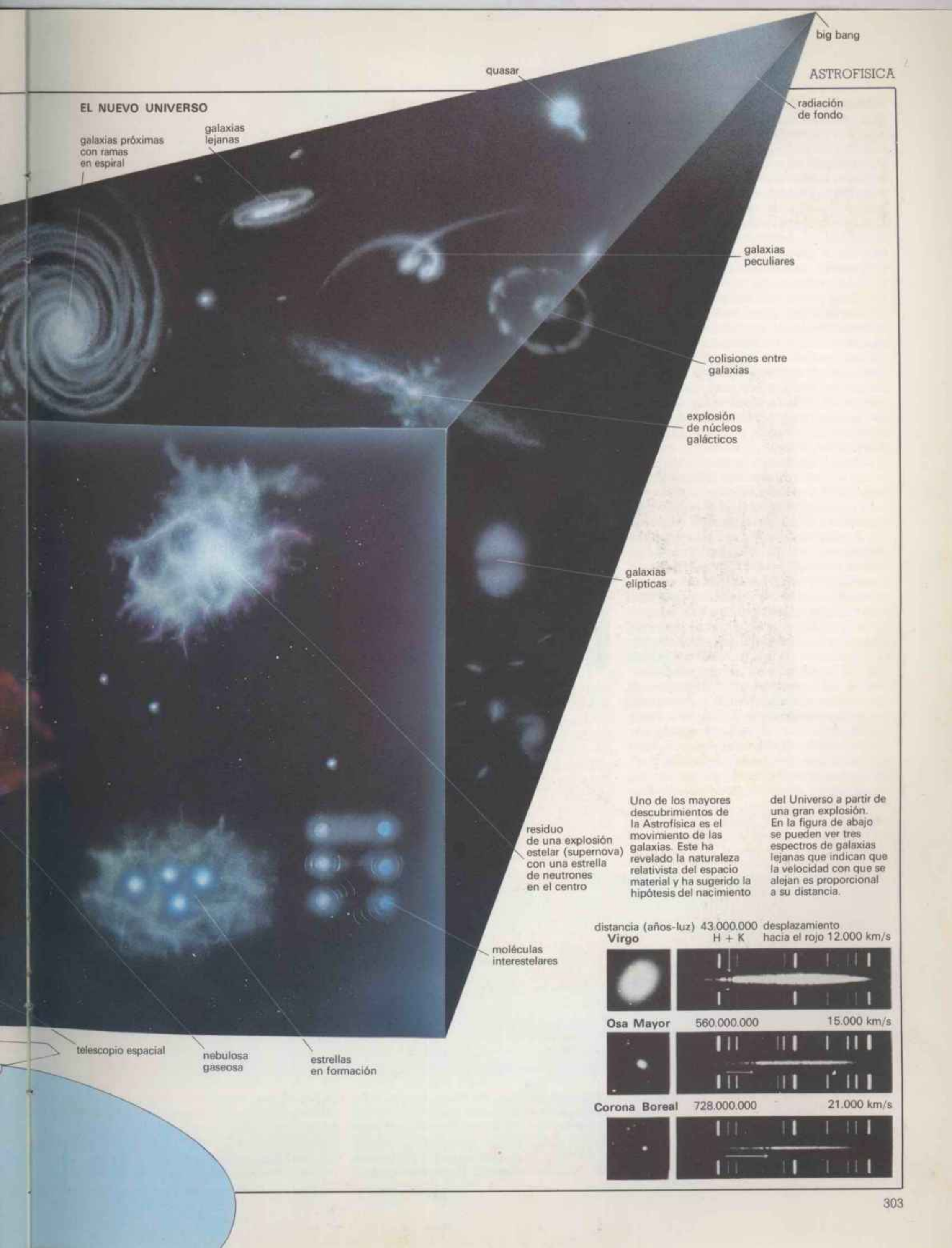
En 1839, el francés Daguerre presentaba en la Academia de Ciencias de París un procedimiento para la fijación química de imágenes que posteriormente conoceríamos con el nombre de *fotografía*; esta técnica tuvo una evolución vertiginosa y encontró en pocos años un gran número de aplicaciones, entre ellas en Astronomía y en Astrofísica. El telescopio actúa como el objetivo de una cámara fotográfica recogiendo la luz y enfocándola sobre un punto. En 1845 los físicos franceses Foucault y Fizeaou sustituyeron el ocular por un chasis que contenía una placa sensible y pudieron registrar gráficamente el Sol y la Luna. La utilización de las placas fotográficas mejoraba la objetividad de las observaciones, liberando al astrónomo y al astrofísico de la servidumbre de dibujar rápidamente las imágenes que veía por el telescopio. Más adelante, gracias a las mejoras introducidas en las emulsiones sensibles y ajustando el movimiento del telescopio para compensar el giro de la Tierra, fue posible, con largas exposiciones, fotografiar estrellas y galaxias demasiado débiles para ser percibidas directamente por el ojo humano a través del ocular. La posibilidad de disponer de imágenes permanentes de cualquier área del cielo permitió realizar mapas precisos de la bóveda celeste, identificar nuevas estrellas, medir sus magnitudes y, por un procedimiento de triangulación, calcular sus distancias respecto a la Tierra.

El hombre escucha el espacio En 1890 se conocía ya la propiedad de los cuerpos



La Astrofísica ha permitido descubrir cómo nacen las estrellas. En una nebulosa (1), gas y polvo se condensan en una esfera de gas muy caliente y luminosa, pero invisible. Seguidamente el viento estelar barre el polvo durante siglos (2 y 3) y la estrella puede verse por fin brillar (4).

En el centro se representan los principales cuerpos celestes estudiados por la Astrofísica. A la derecha, algunos de los instrumentos para la observación del cielo. En la actualidad el telescopio óptico se complementa con otros equipos que sondean el cielo desde la Tierra o a bordo de vehículos espaciales.



Uno de los mayores descubrimientos de la Astrofísica es el movimiento de las galaxias. Este ha revelado la naturaleza relativista del espacio material y ha sugerido la hipótesis del nacimiento del Universo a partir de una gran explosión. En la figura de abajo se pueden ver tres espectros de galaxias lejanas que indican que la velocidad con que se alejan es proporcional a su distancia.

calientes de producir ondas electromagnéticas en un amplio abanico de frecuencias, y que las correspondientes a la luz (zona del espectro visible) y al calor (zona del espectro infrarrojo) no eran más que una pequeña parte del espectro total; por lo tanto, parecía lógico suponer que el Sol y las estrellas emitirían en una gama de radiaciones muy extensa, y si esto era así: ¿Cuál era la razón de no detectarlas desde la superficie de la Tierra? Tuvo que pasar algún tiempo para comprender que la atmósfera no es tan transparente como parece y que actúa como un caparazón invisible que bloquea la mayor parte de las radiaciones procedentes de las estrellas; sólo dos pequeñas zonas del espectro pueden atravesar la atmósfera sin ser absorbidas, y es a través de estas "ventanas" por donde el hombre se asoma al espacio. La primera permite las observaciones en la parte visible del espectro, y gracias a ella recibimos la luz del Sol y vemos las estrellas; la segunda es más amplia y está muy alejada de la anterior, abarcando longitudes de onda mucho mayores, que se han llamado *ondas cortas de radio* y *microondas*.

Fue el desarrollo de la técnica de comunicación sin hilos lo que permitió, de forma casi accidental, detectar radiofuentes en el espacio externo. En 1931, los intentos del norteamericano Jansky por eliminar un cierto tipo de interferencias en las comunicaciones de radio le llevaron a detectar unos "ruidos" que él atribuyó a un flujo de ondas de radio, localizando su origen en un punto cercano al centro de la Vía Láctea. La publicación de los trabajos de Jansky sólo logró interesar a su compatriota Reber, que en 1937 construyó en el jardín de su casa el primer *radiotelescopio*, dotado de una antena en forma parabólica de 1 metro de diámetro, con el que pacientemente rastreó las radiofuentes del espacio. Pero seguíamos estando ciegos para ver la "luz" que nos llegaba en la región de las microondas; era necesario desarrollar la tecnología apropiada para trabajar en esa región, y fueron las investigaciones que sobre el radar se realizaron durante la II Guerra Mundial las que la aportaron. En poco tiempo se construyeron enormes antenas parabólicas, y no tardó en comprobarse que el Sol emitía en esta región con intensidades variables, dependiendo de su actividad (manchas solares, erupciones y otras perturbaciones). Más tarde se identificaron ciertas emisiones de microondas en los planetas y fueron aisladas multitud de fuentes en nuestra galaxia.

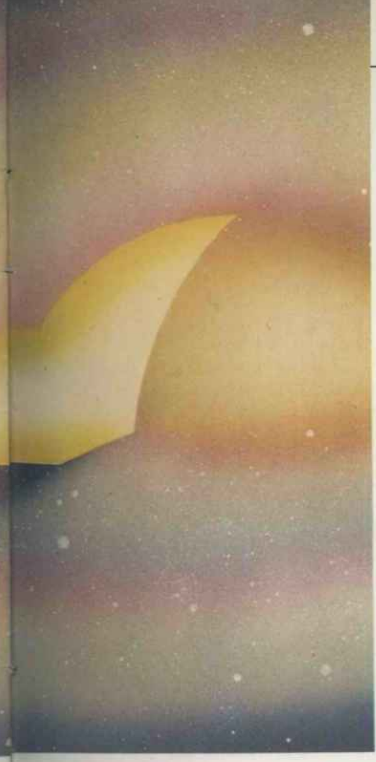
Luminosidad de las estrellas La observación de la bóveda celeste en las noches despejadas permitió a los pueblos antiguos identificar las estrellas que destacaban por su brillo, orientándose por ellas durante la noche. Las primeras culturas bien organizadas ya se dedicaban a un estudio ordenado del cielo. Hiparco, uno de los primeros astrónomos griegos, realizó una clasificación de las estrellas según su brillo: a las veinte más brillantes las llamó de *primera magnitud*, a otras menos brillantes, de *segunda magnitud*, y, así sucesivamente hasta las apenas visibles, de *magnitud seis*. Con la introducción del telescopio y sus sucesivas mejoras, esta clasificación fue ampliándose al descubrirse nuevas estrellas imposibles de distinguir a simple vista. En la actualidad, se mide con precisión hasta la magnitud 23, que corresponde a las estrellas más débiles que se pueden captar con el telescopio Hale de Monte Palomar.

Ahora bien, la clasificación arriba mencionada no aporta ninguna información sobre la estrella tal y como es; para un mismo observador, una estrella débil pero cercana brilla ante sus ojos con la misma intensidad que otra muy luminosa pero apenas visible por estar situada a gran distancia. Había, pues, que definir una magnitud que sirviese para comparar las estrellas entre sí en términos absolutos: esto es lo que hicieron los astrónomos al introducir un nuevo término: la luminosidad verdadera o *magnitud absoluta* de una estrella, que es el brillo que esa estrella presentaría de encontrarse a una determinada distancia patrón.

A principios del siglo pasado, Secchi agrupó las estrellas en varias clases atendiendo a su distribución espectral. Posteriormente, con instrumentos más precisos, se pudo encontrar que las diferentes clases de estrellas se solapaban hasta formar un todo continuo. Cuando la espectroscopia de gases relacionó las diferencias que se observaban en los espectros de un gas con el grado de ionización del mismo, se dio un paso decisivo en el conocimiento de las estrellas. Puesto que el grado de ionización está íntimamente relacionado con la temperatura del gas, era posible determinar la temperatura superficial de una estrella a partir de la estructura de sus líneas espectrales. Por lo tanto, al agrupar las estrellas en clases espectrales (O, B, A, F, G, K, M,) se había conseguido una clasificación por temperaturas; las estrellas más calientes, con temperaturas superficiales de hasta 50.000 °C, se encuentran en la clase O, mientras que las más frías, de 2.500 °C, se agrupan en la clase espectral M. El Sol pertenece a la clase G y tiene una temperatura superficial de 6.000 grados centígrados.

Si representamos las estrellas en un grá

Arriba podemos ver representado un corte de nuestra galaxia que muestra la posición de la Tierra. La galaxia, entendida como un conjunto formado por una enorme cantidad de estrellas, fue descubierta a finales del siglo XVIII, pero su forma precisa, sus dimensiones y el número de estrellas que contiene se han obtenido gracias a los estudios de la Astrofísica moderna. La Tierra está situada a más de 30.000 años-luz del centro y a 20.000 del borde, con el eje de rotación inclinado 60 grados respecto del plano del ecuador galáctico, tal y como se indica en el esquema del pequeño recuadro de la izquierda.



fico atendiendo a su clase espectral y a su magnitud absoluta, se observa que la mayor parte de ellas se encuentran situadas sobre una de las diagonales, de tal forma que cuanto más caliente es una estrella, mayor es su magnitud absoluta. Estas estrellas, aproximadamente el 99% de las hasta ahora observadas, se dice que forman la *secuencia principal*, y el transitar de una estrella por la misma representa la mayor parte de su vida. Este diagrama se conoce con el nombre de *Hertzsprung-Russell*, o simplemente como *diagrama H-R* en honor a los dos científicos que, independientemente, lo realizaron por vez primera.

Cómo nace y muere una estrella La posición de una estrella en el diagrama proporciona una valiosa información sobre su temperatura y su masa, adelantándonos cómo y cúal puede ser su evolución.

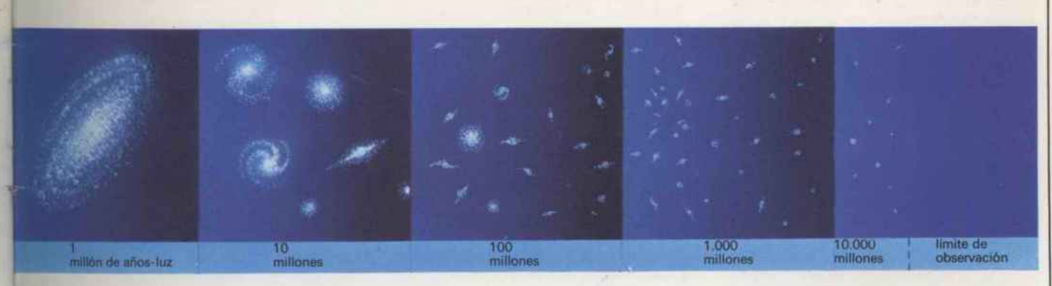
Durante los "primeros momentos" de la vida de una estrella (medio millón de años), el polvo y gas interestelares se van comprimiendo hasta que el núcleo alcanza la temperatura suficiente para comenzar las reacciones de fusión. En ese momento, la estrella "entra" en la secuencia principal en un punto que depende de su masa, ocupando las más másicas las clases espectrales que corresponden a las temperaturas más altas. En la mayor parte de las estrellas, la energía liberada en la reacción de fusión que convierte el hidrógeno en helio sirve para llegar a un equilibrio entre la altísima temperatura del núcleo, que tiende a expansionar la estrella, y la atracción gravitatoria, que tiende a contraerla. Mientras la estrella dispone de suficiente hidrógeno para mantener este equilibrio, apenas se mueve de la secuencia principal.

Cuando la mayor parte de su hidrógeno, helio e incluso hierro es consumida, se rompe el equilibrio en la estrella, con un brusco colapso de las capas exteriores sobre el núcleo central. Llegado este punto, y dependiendo de muy diversos factores, la estrella permanece emitiendo luz blanca o azulada (*enana blanca*) o se enfría definitivamente, dejando de emitir y muriendo. Un caso muy espectacular es el de las *supernovas*, resultado de una tremenda explosión de una estrella vieja que provoca un fantástico aumento de su luminosidad durante unos meses. En los últimos 1.000 años sólo se han observado en tres ocasiones: la primera de ellas, en el año 1.054, era visible durante el día y provocó el pánico entre la población que comtemplaba con horror la aparición de un nuevo Sol en el cielo. Aun hoy es visible a través del telescopio. Es la *nebulosa del Cangrejo*, enorme nube incandescente expandiéndose a más de 1.500 kilómetros por segundo.

Origen del Universo En 1842 Doppler predijo, sobre la base de la teoría ondulatoria, que las longitudes de onda que componen un haz de luz deberían observarse más cortas de lo que en realidad son si la fuente productora de luz y el observador se estuvieran acercando, y más largas si se alejaran. De acuerdo con esto, el espectro visible de una estrella alejándose de la Tierra se vería desplazado hacia el rojo (longitudes de onda mayores) y hacia el violeta (longitudes de onda menores) si se estuviesen aproximando. Las continuas observaciones de galaxias lejanas han demostrado que el desplazamiento hacia el rojo es una constante y que las galaxias se están alejando unas de otras. Son varias las teorías que existen sobre el origen del Universo, pero dos han suscitado más atención: la conocida como "*Big Bang*", elaborada por Lemaitre y Gamow, según la cual inicialmente toda la materia estaba concentrada en un núcleo que por alguna causa sufrió una tremenda explosión sembrando el espacio de materia, y cuya condensación dio origen a los cúmulos de galaxias; y la teoría de los astronómos Bondi, Hoyle y Gold, que consideran un Universo inmutable sin principio ni fin y de una densidad constante, de forma que nueva materia se está creando continuamente para compensar la disminución de densidad a que da lugar la incesante expansión del Universo.

A pesar de que los avances de los últimos años han logrado clarificar ciertas etapas de la vida de las estrellas y galaxias, aún continúan sin resolverse muchos interrogantes, y falta una explicación coherente para un gran número de fenómenos. En los años venideros el desarrollo de nuevas técnicas permitirá recopilar más información sobre el Universo.

Véase **Astronomía; Constelaciones; Electromagnetismo; Observatorio astronómico; Radioastronomía**



Es realmente difícil poder imaginarse las enormes distancias del Universo; arriba, en el dibujo, están representadas las mayores distancias a las que se puede llegar en la observación del Universo. Todos los temas de investigación astronómica relativos al Sistema Solar, estrellas, cúmulos, nebulosas gaseosas y galaxias entran dentro de las distancias menores a un millón de años-luz. A distancia de decenas de millones se encuentran las galaxias del grupo local, cúmulo del que formamos parte. Dentro de los cientos de millones de años-luz se encuentran las galaxias de los primeros supercúmulos conocidos, entre los que está el nuestro en la constelación de Virgo. El espacio más allá de mil millones de años-luz está formado por innumerables cúmulos y supercúmulos de galaxias; los límites en la observación se alcanzan con los radiotelescopios, que sondean hasta distancias de dieciocho mil millones de años-luz.

Astronauta

Según los patrones estadounidenses, el astronauta es un aviador que vuela a una altura superior a 80.000 metros sobre la superficie terrestre. Esta definición incluye a muchos pilotos militares que, desde el final de la década de los cuarenta, volaron a bordo del avión-cohete *X-15* hasta el límite de la atmósfera y se salieron de ella haciendo breves escapadas. De hecho, la definición de astronauta (o cosmonauta, como se llaman en la Unión Soviética) parte de la década de los sesenta.





Historia Los vuelos tripulados al espacio se iniciaron el 12 de abril de 1961, cuando el cosmonauta soviético Yuri Gagarin efectuó una órbita completa alrededor de la Tierra. Menos de un mes más tarde, los Estados Unidos enviaron su primer astronauta al espacio. Estos dos vuelos en la primavera de 1961 señalaron el comienzo de la carrera espacial que enfrenta a la Unión Soviética y a Estados Unidos. La ventaja soviética duró hasta 1962, año en que el astronauta estadounidense John Glenn describe una órbita alrededor de la Tierra. En 1969 el módulo lunar *Eagle* se posó sobre la Luna y Neil Amstrong dejó sus huellas sobre el suelo lunar. Entre los logros más notables de los soviéticos destaca el primer paseo en el espacio (en 1965), el primer vuelo espacial de una mujer, la cosmonauta Valentina Tereschkova (en 1963) y el récord de permanencia en el espacio, con un viaje espacial de 185 días de duración (en 1980). Pero no todos los viajes espaciales tripulados han acabado con éxito.

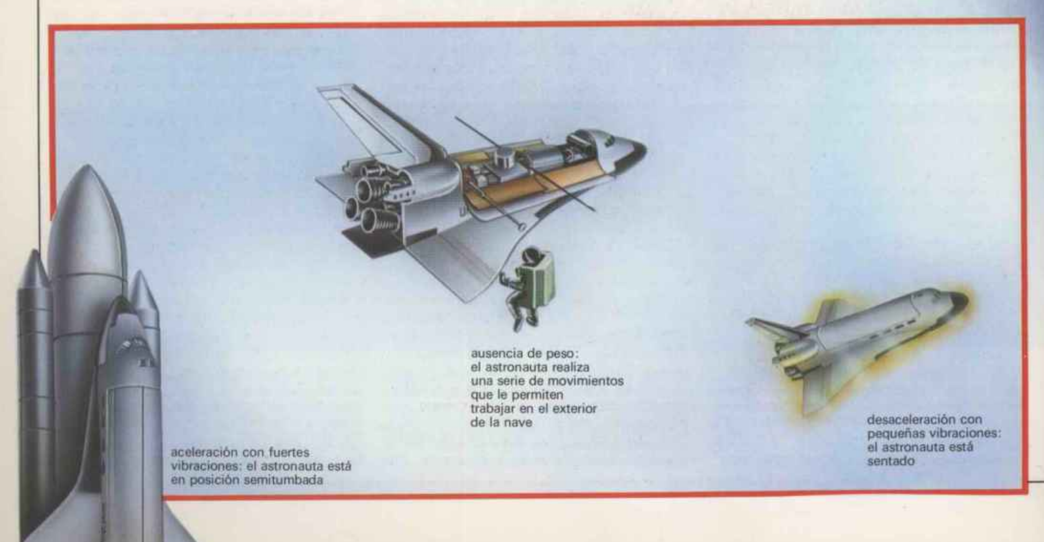
El equipamiento Sobrevivir en el espacio es el problema del astronauta, tanto si se hace un vuelo breve, de pocas órbitas alrededor de la Tierra, como si se trata de llegar a la Luna y volver a la Tierra. Algunos astronautas han permanecido en el espacio, en ausencia de gravedad, durante varios meses; otros han trabajado fuera de la nave espacial unidos a ella por medio de un fino cordón; otros han recorrido kilómetros sobre la superficie lunar con un vehículo especial. Para todos existe el problema de adaptar su vestimenta al medio en el que deberán operar. Este puede ser una cápsula o un gran laboratorio espacial (como el *Skylab*): amplio, con varias cámaras, presurizado, a la temperatura óptima para el hombre y al que sólo le falta la gravedad para ser idéntico al ambiente terrestre. Hay también misiones en las que el astronauta debe trabajar fuera de la nave, expuesto al vacío espacial.

En el pasado los movimientos del astronauta estaban condicionados a un reducido espacio: el habitáculo de una nave espacial ligera puesta en órbita por un misil adaptado para este servicio, pero que había sido diseñado para lanzar un artefacto nuclear intercontinental de poco peso. El traje que llevaba tenía que servir para todo: protección térmica, a veces presurización, mecanismo de recogida y conservación de desechos orgánicos y sistemas que permitían comer, beber, descansar y dormir.

Ahora que las naves son grandes y cómodas y que las aceleraciones de salida y retorno son pequeñas, se puede vivir a bordo vestido con un mono, de abrigo o ligero, según la temperatura ambiente. Pero si se necesita salir al espacio es preciso ponerse un mono especial: un traje para actividades extravehiculares (EVA).

Los trajes utilizados en el interior de la nave deben cumplir ciertos requisitos: deben tener ciertas propiedades que posibiliten permanecer a bordo sin dañar los instrumentos. Por ejemplo, no pueden perder fibras de tejido, que podrían introducirse en los mecanismos de los instrumentos e impedir los contactos eléctricos de los interruptores, al ser aquéllos buenos aislantes eléctricos.

El traje para actividades extravehiculares es mucho más complejo. Está compuesto de muchas capas, cada una de ellas con una función específica. La interior es impermeable para impedir la salida del gas con que el traje está presurizado. Una capa sucesiva, de la misma tela que las velas de los barcos de regatas, da resistencia y lo hace indeformable, otras capas externas actúan de aislante térmico y la última sirve para evitar la salida de calor hacia el vacío





En la página anterior, abajo, tres momentos del vuelo del astronauta: el despegue de la nave, cuando el empuje de los grandes motores le da la *aceleración de despegue;* durante la órbita (en el centro), realizando actividades extravehiculares, y en el momento de la reentrada a la atmósfera, cuando de la ausencia de gravedad se pasa de nuevo a las grandes aceleraciones. A la izquierda de estas líneas, el módulo para actividades extravehiculares separado del vehículo nodriza, que se ve a la derecha. La Tierra aparece "arriba"; aunque en ausencia total de gravedad no existe un "arriba" y un "abajo" en sentido gravitacional, sólo en sentido geométrico. En la página anterior, arriba, dos momentos de la actividad del astronauta en el espacio. Como base operativa, la nave espacial es el vehículo más eficaz.

exterior y reflejar los rayos solares. El traje en sí es un logro de la tecnología. De hecho, el mono está presurizado con una presión próxima a un kilogramo por centímetro cuadrado. Eso significa que cada decímetro cuadrado está sometido a un empuje hacia afuera de cien kilogramos. Todo el traje está sometido a un esfuerzo de más de diez toneladas. De hecho, el tejido es el que debe soportar esos esfuerzos, pero el diseño mecánico está hecho de forma que permita los movimientos de las articulaciones del hombre.

No sólo esto, sino que además el traje para actividades extravehiculares debe contener la reserva de oxígeno necesaria, el sistema de reciclado y depuración del aire, el sistema para la eliminación de los residuos sólidos y líquidos, otros que permitan beber y comer y otro que mantenga la temperatura dentro de límites aceptables. Aunque el traje tenga todas esas comodidades, es necesario que el astronauta se ponga otro mono ajustado a su cuerpo. El traje se completa con un sistema de cierres de seguridad y con un casco con visor.

Comer en el espacio La alimentación del astronauta no es un problema en los vuelos cortos. Cualquier alimento que pueda nutrir y mantener el metabolismo energético del cuerpo durante algunos días es suficiente. Si la permanencia en el espacio se prolonga, entonces se hace necesario cuidar que se satisfagan algunas exigencias: la primera, que la dieta sea idónea para el tipo de esfuerzos y desgastes que el cuerpo sufre en el espacio; la segunda, la forma en que los alimentos son conservados y preparados a bordo de la nave.

Carne, cereales, productos lácteos, verduras y frutas constituyen la base de la alimentación del astronauta. Las raciones están elegidas de forma que suministren minerales en abundancia, y especialmente aquellos que, como el potasio, mantienen el tono muscular. El calcio, del que se tiene una pérdida notable en el espacio, es también indispensable; el sodio debe equilibrar correctamente al potasio y estar ambos adecuadamente dosificados.

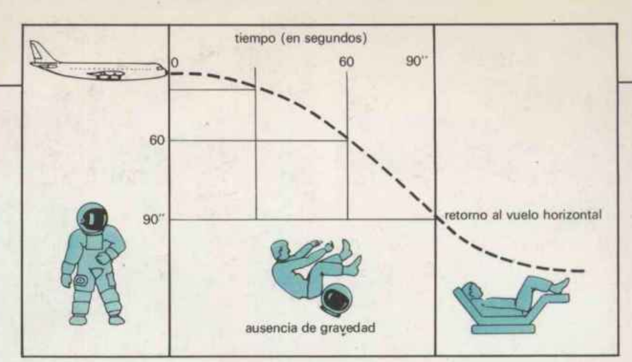
La rehidratación de los alimentos debe realizarse en recipientes herméticos, muchas veces en los mismos contenedores en que se conservan. Los astronautas los tomarán directamente de estos recipientes, por ejemplo, succionándolos. Como no existe gravedad no se puede "verter" un líquido: verter presupone el "abajo" y por tanto la gravedad; al faltar ésta, el líquido se desparramaría por el espacio en forma de gotitas que se moverían adhiriéndose a cualquier parte. Afortunadamente muchos alimentos pueden ser conservados en su forma original y poseen una consistencia que hace posible tomarlos con cubiertos normales.

Los alimentos no deshidratados se conservan en frío en el equivalente espacial de un frigorífico doméstico. Los alimentos congelados y los rehidratados (previamente liofilizados crudos) se deben cocer o calentar. Para ello los alimentos se introducen en el horno en el mismo contenedor hermético en el que estaban conservados.

Los astronautas no comen sentados: la silla es una exigencia que sólo se da en presencia de la gravedad. Tampoco se puede decir que coman de pie, dado que no existe una vertical y muchas veces pueden tomarse su comida en común uno boca arriba, otro boca abajo, otro perpendicular a ellos con la cabeza a un lado o a otro, y todos ellos cómodos y relajados. Mucho mejor que un desayuno en la cama, ya que el aparato digestivo —especialmente la parte superior— puede tragar y empujar los alimentos hacia el estómago sin ayuda de la gravedad.

La inactividad física a bordo de una nave espacial reduce enormemente las necesidades energéticas del cuerpo humano. Pero, por razones de bienestar, el consumo





Es necesario conocer los efectos sobre el organismo de las aceleraciones en el despegue y en la reentrada a la atmósfera. Además, el vuelo sin gravedad durante largos períodos provoca grandes incomodidades y a veces también alteraciones fisiológicas. Ello se puede experimentar con ciertas maniobras (esquema de arriba) de un avión. En la foto de la izquierda, el astronauta con el traje EVA.

de alimentos se lleva a un nivel de alrededor de las 3.000 calorías por día, que son consumidas por medio de una gimnasia adecuada. Por esto, las grandes naves espaciales o el *Skylab* llevan aparatos como la bicicleta de gimnasio.

El entrenamiento del astronauta Se inicia ya con la selección del futuro astronauta. No se llega a ser astronauta partiendo de cero; es preciso, al menos, tener experiencia como piloto de avión de caza. La aptitud para el pilotaje de estos aparatos requiere muchas de las dotes que son necesarias para viajar por el espacio. Entre ellas un físico excepcional desde el punto de vista del aparato circulatorio, del metabolismo, de la vista, de la resistencia a la fatiga, y todo unido a unas excelentes cualidades psíquicas. El piloto de cazas está también habituado a sufrir fortísimas aceleraciones y a compensar, presionando sobre ciertas partes de su cuerpo, los desequilibrios de la presión sanguínea desajustada por la aceleración de las maniobras. Además, el piloto de cazas está acostumbrado a llevar un vehículo lleno de instrumentos electrónicos, que es necesario conocer a fondo para poder pilotar eficazmente. Estos instrumentos están siendo renovados y actualizados continuamente, y son sustituidos frecuentemente por otros más modernos; el piloto debe pasar gran parte del tiempo de su carrera estudiando el funcionamiento de aparatos cada vez más sofisticados.

Todo lo dicho sirve para mostrar que el entrenamiento de un astronauta debe iniciarse con una base muy concreta que apunta directamente al piloto de cazas. Pero su entrenamiento debe llevarse todavía más lejos para poder satisfacer las múltiples y especiales exigencias del tipo de misión a que será destinado.

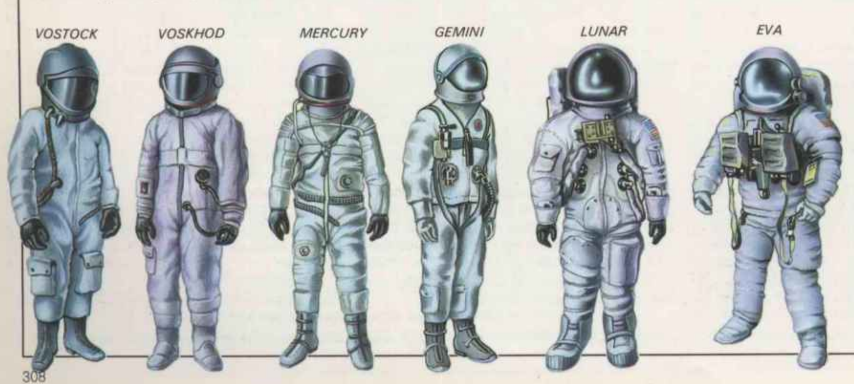
Las tareas del astronauta La primera lección que debe aprender el astronauta se refiere a la misión para la que se prepara. Debe saber cuál será el recorrido que su vehículo deberá efectuar, cuáles las etapas de la misión y las maniobras que se deberán realizar. Asimismo le es necesario saber cómo está construido el sistema que lo llevará al espacio. Deberá, de hecho, para conocer todas las particularidades, estudiarlo con los ingenieros que lo han proyectado. La misión requerirá un enlace constante con las bases en tierra, que compartirán con el astronauta la responsabilidad de las maniobras. Algunas de éstas estarán preparadas en los ordenadores de tierra, otras en los ordenadores de a bordo. En algún caso podría presentarse una incompatibilidad entre los dos sistemas, y el astronauta deberá entonces coordinar las comunicaciones que permitan tomar las decisiones oportunas.

La permanencia en el espacio, la aceleración en el despegue y en la entrada a la atmósfera producirán un cierto número de inconvenientes fisiológicos que el astronauta deberá saber dominar. Los inconvenientes son mucho menores si el astronauta ha sido ya entrenado para soportarlos; parte del entrenamiento está orientado a soportar las molestias que se derivan de las aceleraciones y de la falta de gravedad. Pero es también necesario entrenarse para realizar ciertas operaciones simples como eliminar los desechos corporales, alimentarse, disponerse para dormir, etcétera.

Las misiones espaciales se efectúan con el fin de realizar observaciones científicas y técnicas de muy variado tipo; con frecuencia en un solo vuelo se realizan múltiples experimentos, y el astronauta debe cumplir el papel del científico en el laboratorio.

Partiendo de que las averías en los aparatos son siempre posibles, el astronauta debe ser capaz de superar los más variados tipos de emergencias.

La lógica del entrenamiento Como se ve, el entrenamiento de un astronauta abarca múltiples facetas. El estudio de algunos detalles de la construcción de los aparatos y de aspectos concretos de la misión podrá hacerse al final del período de aprendizaje, pero muchos estudios deberán realizar-



Evolución de los trajes de los astronautas desde los primeros vuelos orbitales hasta la actualidad. Ya en los vuelos de la cápsula *Gemini*, los astronautas realizaron actividades con el traje EVA con todos los sistemas de protección necesarios. Durante las salidas al exterior estaban unidos a la nave por medio de un cordón para evitar perderse en el espacio. Con los vuelos *Apolo* se debía prever la necesidad del "paseo lunar" y la posibilidad de maniobrar en el espacio, a cierta distancia del vehículo nodriza.





Arriba, a la izquierda, un astronauta sentado a los mandos de un simulador de vuelo orbital que ha sido diseñado para preparar a la tripulación de las naves espaciales para realizar las maniobras en condiciones de vuelo aerodinámico, es decir, aquellas que se producen durante el descenso dentro de la atmósfera, cuando la nave se sustenta con alas.
A la derecha, un fisiólogo controla a un científico astronauta mientras está sometido a actividades simuladas en un dispositivo de entrenamiento de vuelo del laboratorio espacial *Spacelab*. Las exigencias a bordo de las naves actuales, al perfeccionarse su diseño y habitabilidad, permiten ya volar en ellas a personas con condiciones físicas no tan extraordinarias como las de los astronautas de las primeras generaciones.

se a la vez que se procede al entrenamiento físico y fisiológico. Todo ello es necesario porque si el sujeto no cumpliera algunos de los requerimientos, debería ser descartado y reemplazado inmediatamente.

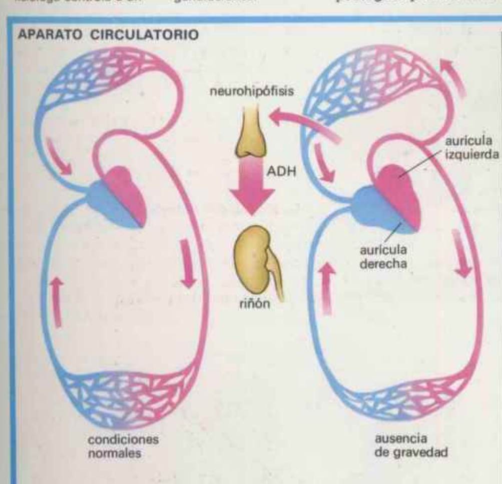
Durante el período de entrenamiento, el astronauta lleva una vida completamente normal, a menos que ciertos ejercicios o cursos de instrucción le mantengan lejos de la base de lanzamiento.

Para el entrenamiento físico se le enseñará cómo soportar aceleraciones sometiéndole a las producidas por unas centrifugadoras especiales, en las que estará protegido por los mismos sistemas con que contará a bordo de la nave espacial en el momento del lanzamiento. Hará la gimnasia necesaria para adaptar las vísceras a funcionar en ausencia de gravedad: el estómago y el corazón no pesarán hacia abajo, y sin un entrenamiento oportuno podrían provocar desagradables sensaciones. Durante varios días sólo tomará los mismos alimentos que tendrá a su disposición a bordo de la nave espacial. Lo mismo deberá hacer para lavarse y para eliminar los desechos orgánicos.

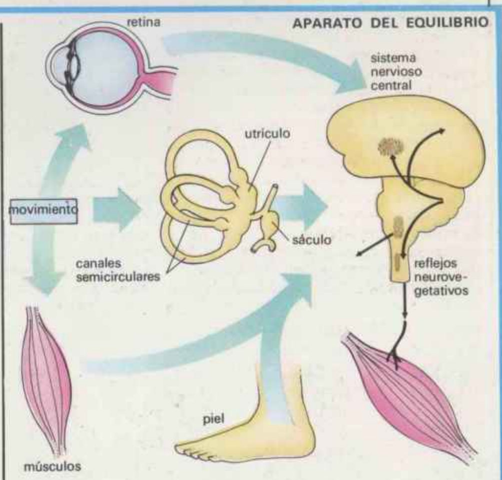
Se repetirán varias veces vuelos simulados, ensayando todas las maniobras de la misión verdadera y simulando después posibles emergencias. Este entrenamiento es particularmente importante, ya que debe dar al astronauta la seguridad en sí mismo y en el sistema.

Hay ciertas partes del entrenamiento muy difíciles de realizar. Por ejemplo, las maniobras en ausencia de gravedad no se pueden simular en la Tierra, y para hacerlas se debe recurrir a aviones de carga especiales que han de realizar maniobras de "picado" (seguidas, por tanto, de ascensos largos) con una duración de pocos segundos. No se puede simular en la Tierra un largo período de ausencia de peso. Por esto es necesario estudiar todos los entrenamientos que puedan preparar la musculatura para soportar más tarde la falta de gravedad durante todo el tiempo necesario.

Véase **Astronáutica**



Entre las diferentes alteraciones fisiológicas producidas por las condiciones de ausencia de gravedad del vuelo espacial, las que se refieren al sistema circulatorio son de hecho las más importantes. En condiciones de gravedad normal, la sangre se reparte entre la parte superior e inferior del cuerpo de una forma equilibrada. La ausencia de peso empuja una cantidad excesiva de sangre a las regiones cefálica, cervical y torácica. Las aurículas del corazón se dilatan y por vía refleja se induce una disminución de la secreción —por parte de la neurohipófisis— de la hormona ADH, que regula la secreción de orina por parte del riñón, con el consiguiente aumento de las pérdidas de sodio por la orina.



El mantenimiento del equilibrio depende normalmente de señales que llegan al sistema nervioso central proviniendo del aparato del equilibrio (situado en el oído interno), de los ojos, de las terminaciones nerviosas de la piel, de los músculos, de las articulaciones. En ausencia de gravedad, las señales que llegan al sistema nervioso central provenientes del sáculo y el utrículo, que forman parte del aparato del equilibrio, y de las terminaciones nerviosas de la piel de las extremidades inferiores, que normalmente soportan el peso del cuerpo, están alteradas. Los resultados son sensaciones de falta de equilibrio: palidez, náuseas, vértigos, etc. (de *La Recherche*, núm. 133, mayo 1982).

Astronáutica

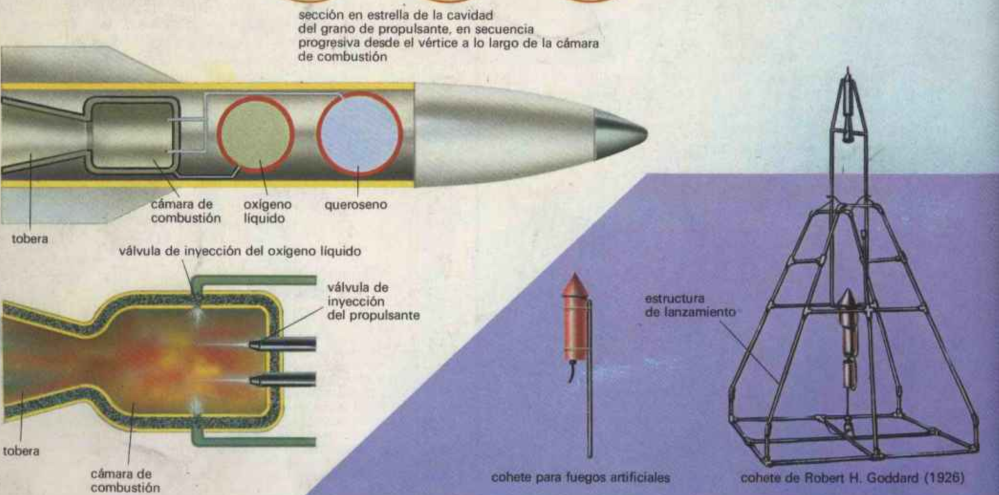
El 4 de octubre de 1957, con la misión del *Sputnik 1*, se abría el camino para hacer realidad el antiguo sueño del hombre de visitar otros mundos. El *Sputnik 1*, lanzado por la Unión Soviética, pesaba 83 kg y pronto le siguieron los *Sputnik 2* y *3*, el último con un peso de más de una tonelada y equipado con una variada instrumentación. A comienzos de 1958 los Estados Unidos entraron en acción con el *Explorer 1* y el *Vanguard 1*, dando comienzo a la "carrera espacial". La URSS fue en cabeza hasta octubre de 1959, cuando realizó la primera circunnavegación de la Luna, fotografiando su cara oculta. Pero en agosto de 1962 los Estados Unidos lanzaron hacia Venus el *Mariner 2*, que pasó a una distancia de sólo 34.744 km del planeta, manteniendo el contacto por radio a 87 millones de kilómetros de la Tierra. En la segunda década del período de investigación espacial, desarrollada sobre todo por Estados Unidos y por la Unión Soviética, han sido lanzados al espacio más de 1.200 satélites y sondas, con un gasto anual, sólo para Estados Unidos, de 3 a 5 mil millones de dólares.

Genio e intuición ¿Cómo ha sido posible todo esto? Antes que nada, por la decisión tomada por Estados Unidos y la Unión Soviética de incluir la exploración espacial en sus programas durante el primer Año Geofísico Internacional en 1957-58. Esto garantizaba que los fondos necesarios y la investigación tecnológica, ambos disponibles sólo en los países ricos y tecnológicamente más avanzados, iban a poder utilizarse para sostener el esfuerzo. Hombres de ingenio y de intuición habían contribuido a allanar el camino hacia el espacio ya desde el siglo XVII, cuando Galileo, con su primer telescopio, demostró que los cuerpos luminosos del cielo estaban constituidos de materia lo mismo que la Tierra. Sobre este camino pasaron muchos pioneros: uno de ellos, Isaac Newton, fue el primero en plantear (en 1687) la hipótesis de que la exploración espacial podría ser una posibilidad

trayectoria suborbital
punto de lanzamiento
punto de destino

cámara de combustión
vértice
cavidad de sección en estrella
propulsante sólido
tobera

sección en estrella de la cavidad del grano de propulsante, en secuencia progresiva desde el vértice a lo largo de la cámara de combustión



Disposición alrededor del globo terrestre de una trayectoria de vuelo suborbital (arriba), la más fácil para un cohete capaz de efectuar el lanzamiento de una carga con una cierta masa. A la izquierda, abajo, los protagonistas de las empresas espaciales: el motor cohete de propulsante sólido y el de propulsante líquido. El primero está alimentado por una carga de propulsante elástico de combustión lenta. La sección interna en forma de estrella permite obtener un empuje constante en el tiempo, aunque la combustión va alterando la sección. Pero el verdadero dominador del espacio es el motor de propulsante líquido, del cual puede verse la sección de todo el cuerpo y la del motor.



La historia del motor cohete tiene un origen muy antiguo, ya que se remonta al año 1000 a. de C. cuando en China pequeños cohetes eran utilizados con fines pirotécnicos. Eran parecidos a los utilizados actualmente como fuegos artificiales o para la prevención del granizo. En 1926, el pionero de los misiles, Robert Goddard, realizó en Estados Unidos el primer cohete con combustible líquido, un avance notable en la técnica de la propulsión. Los únicos progresos importantes que se dieron posteriormente fueron en el campo de las investigaciones para aplicaciones bélicas del cohete. Abajo, la *Vergeltungswaffe nº 2*, conocida como *V2*, utilizada durante la II Guerra Mundial para bombardear Londres a gran distancia. Fue realizada, con pleno apoyo del gobierno nazi, por un joven, Werner von Braun, que al terminar la guerra emigró a Estados Unidos, donde fue el número uno en la investigación espacial. Algunas *V2* transportadas a Estados Unidos fueron reconstruidas y, aplicando en su proa el pequeño misil *Wac Corporal*, obtuvieron récords de altura y abrieron el camino a las sucesivas realizaciones astronáuticas.

real de la ciencia. Otro fue el norteamericano Robert Goddard: en los años veinte de nuestro siglo sus experimentos con cohetes sentaron las bases para realizar los vuelos espaciales. También el alemán Werner von Braun fue uno de ellos: durante la II Guerra Mundial, con el pleno apoyo del gobierno nazi, puso a punto la *V2*, el primer misil operativo. Hubo muchos otros precursores y la suma total de sus contribuciones hizo posible aquel anhelado momento del 12 de abril de 1961, cuando el primer ser humano fue lanzado al espacio. El piloto de la nave espacial soviética, la *Vostok 1*, era Yuri Gagarin, que permaneció 1 hora y 40 minutos orbitando alrededor de la Tierra antes de volver a ella, y, lo más importante, regresó en perfectas condiciones. La cápsula en la que voló pesaba 4.530 kg, frente a los 83 kg del *Sputnik 1*, el primer satélite —también soviético— puesto en órbita el 4 de octubre de 1957. Esta diferencia indica el extraordinario progreso científico en menos de cuatro años. Cuando los Estados Unidos, menos de un mes después, enviaron al astronauta Alan Shepard a 485 km de altura sobre el Atlántico, en su primer lanzamiento pilotado, la cápsula *Freedom 7* pesaba un tercio de la soviética. El primer estadounidense colocado en órbita terrestre la recorrió tres veces el 20 de febrero de 1962. Se trataba de John Glenn y su nave espacial era la *Friendship 7*. Con una maniobra que habría de resultar familiar a millones de telespectadores del mundo entero, Glenn amerizó en el Atlántico, y la *Friendship 7* fue izada a bordo de un barco de socorro por un helicóptero, tras un accidentado viaje en el que la nave tuvo una avería en el mecanismo automático de control de altitud al término de la primera órbita, desprendiéndosele además, al final de la tercera y última órbita, la placa de protección térmica. Milagrosamente la cápsula realizó el amerizaje cuando su temperatura exterior hacía temer por la vida del astronauta.

El salto definitivo Mientras, y con menos dramatismo, el programa de vuelo automático, que continuaba con objetivos concretos, desarrollaba la exploración efectiva del espacio mucho más lejos de lo que los vuelos pilotados estaban en condiciones de lograr, y conseguía algunos resultados extraordinarios. El principio fundamental que hizo posible estas empresas fue que, a una velocidad de unos 40.000 km/h, una nave espacial en órbita puede escapar completamente de la gravitación terrestre y viajar a las profundidades del espacio sin necesidad de propulsión posterior. Esta llamada "velocidad de escape" fue alcanzada por primera vez en enero de 1959 por la sonda *Lunik I* de la Unión Soviética. En los años sesenta los Estados Unidos construyeron una serie de vehículos con cohete propulsor, concebidos para alcanzar la velocidad de escape, y en marzo de 1960 enviaron su primera sonda espacial automática a una órbita solar. La culminación de este esfuerzo técnico fue el *Saturno V*, de tres etapas, con



En octubre de 1957 fue lanzado por la Unión Soviética el *Sputnik 1*, el primer satélite artificial. Fue seguido en 1958 por el *Explorer* norteamericano. Las órbitas de los primeros satélites eran bajas; el frenado originado por el roce con la atmósfera les hacía caer después de unos pocos años o meses (abajo). A la izquierda, el cohete estadounidense *Júpiter*.

Arriba, al lado del *Sputnik 1*, otros satélites y astronaves del primer período de la carrera espacial. En la parte superior, el *Sputnik 2*, que llevaba a bordo un perro, "Laika", demostrando así la posibilidad de abrir la navegación espacial a los seres vivos. Abajo, el *Sputnik 3* y, a la derecha, el *Explorer*, el primer satélite norteamericano. Debajo, el *Vostok 1*, la primera cápsula espacial que llevó al espacio un hombre, Gagarin. En esta primera fase se superó la dificultad principal: el control del lanzamiento y el alcance de la velocidad necesaria para entrar en órbita. Sucesivamente se descubrió cómo situar el vuelo en la órbita más eficaz y modificar sus parámetros. La instrumentación electrónica no disponía aún de circuitos integrados.

una altura de más de 110 metros. El *Saturno V* quemaba oxígeno líquido y queroseno en la primera etapa, y oxígeno e hidrógeno líquidos en la segunda y tercera etapas. El primer alunizaje "suave" fue efectuado por la *Lunik 9*, una sonda automática soviética, el 31 de enero de 1966. Cuatro meses después, el *Surveyor 1*, estadounidense, empujado por un cohete *Atlas Centauro* de dos etapas y media, efectuó un perfecto alunizaje blando. Siguieron el *Luna 13*, en diciembre de 1966, que alunizó para comprobar la resistencia del suelo lunar, y el norteamericano *Surveyor 3*, en abril de 1967, que alcanzó la superficie de nuestro satélite y extendió un brazo perforante para analizar su suelo. La carrera a la Luna había comenzado. El propio Presidente estadounidense John F. Kennedy había prometido el envío de una tripulación humana a la Luna antes de finalizar ese decenio. Mientras tanto, sin embargo, también otros programas alcanzaban importantes resultados. En junio de 1967 la Unión Soviética consiguió posar un artefacto sobre la superficie de Venus; en octubre de 1967 el programa soviético *Cosmos* realizó la primera cita de contacto en el espacio; en diciembre de 1968 Estados Unidos situó en una órbita fija el primer observatorio astronómico espacial.

Un salto de gigante Los Estados Unidos prepararon metódicamente su salto final a la Luna. Su programa inicial *Mercury* de órbita terrestre fue seguido del progra-



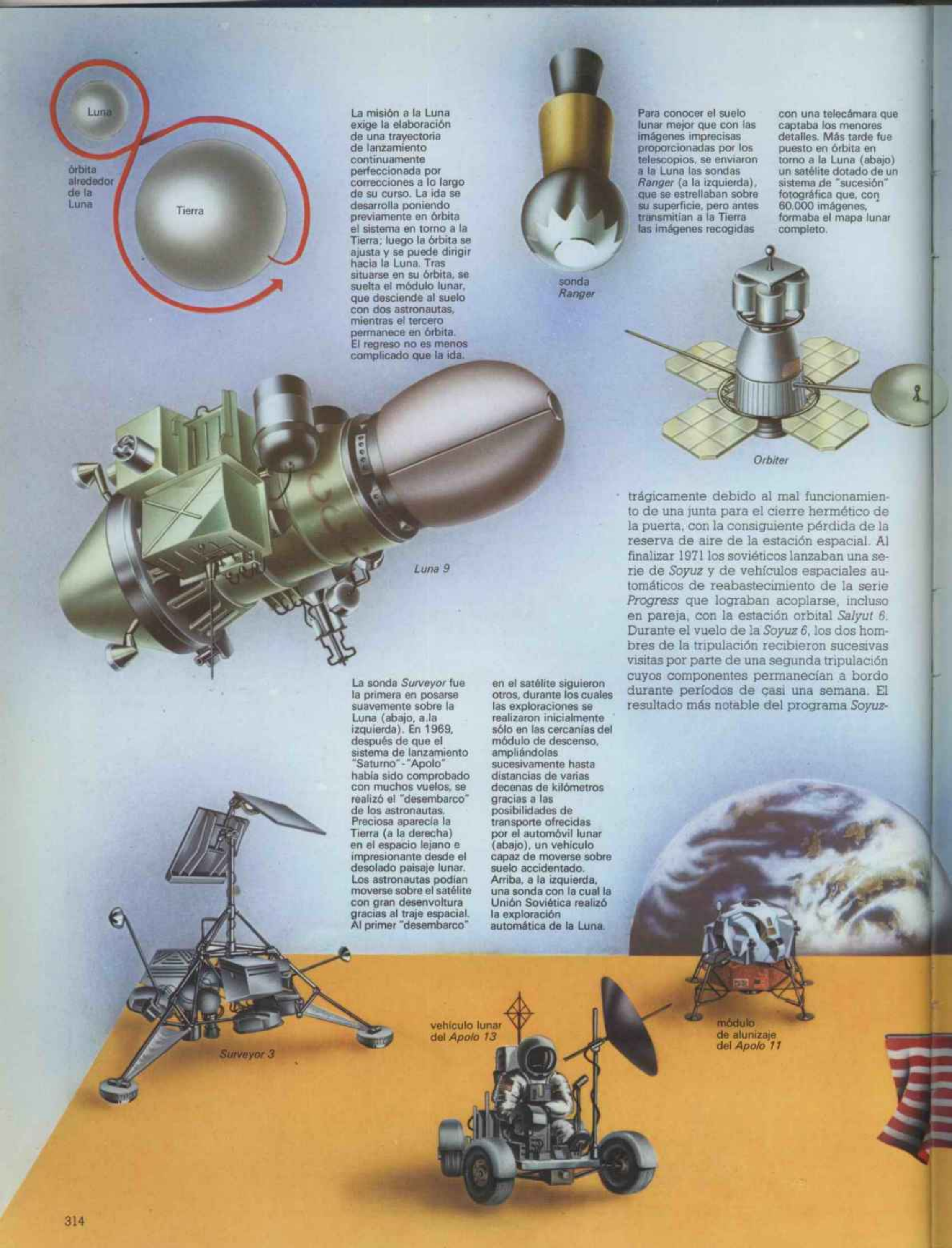
Una cápsula *Gemini* con el astronauta que, tras salir por la compuerta, queda aislado en el espacio, sujeto por un largo cordón. Estas naves estaban destinadas a llevar al espacio dos astronautas. La meta de Estados Unidos era recuperar la supremacía espacial con la conquista de la Luna.

Después de la conquista de la Luna, el programa espacial norteamericano siguió durante una primera etapa utilizando los módulos de lanzamiento y navegación *Apolo*, empleados para llegar a la Luna, con el fin de poner en órbita un laboratorio espacial en el cual los astronautas tuviesen la posibilidad de relevarse desde la Tierra: el *Skylab* (está representado arriba, a la derecha).

El lanzamiento de un vehículo como el *Skylab* tiene un costo energético y económico prohibitivo. La solución para llevar al espacio hombres e instrumentos la ha proporcionado el transbordador espacial, un vehículo capaz de colocarse en órbita y volver a la Tierra múltiples veces. Con su recuperación se logra una gran economía; además, el transbordador ha sido proyectado y construido para ser lanzado con aceleraciones muy bajas y por lo tanto fácilmente soportables.

ma *Gemini* con dos hombres de tripulación, y finalmente por el programa *Apolo* con el vuelo simultáneo de tres hombres en la mayor nave espacial construida en Estados Unidos. En diciembre de 1968 se recorrieron las órbitas alrededor de la Luna; en marzo de 1969 el Módulo de Excursión Lunar (LEM), concebido para hacer alunizar a dos hombres y volverlos a llevar a la cita con la cápsula madre, había sido experimentado en órbita terrestre. En mayo de 1969 el LEM fue comprobado en órbita lunar, y el 20 de julio de 1969 llevó sobre la superficie lunar, sin incidentes, a dos hombres: Neil A. Amstrong y Edwin E. Aldrin. "Este es un pequeño paso para el hombre y un salto gigante para la Humanidad", dijo Amstrong al bajar de la escalerilla del LEM e imprimir la huella de su pie en la polvorienta superficie de la Luna. Después de una estancia de 21 horas y 36 minutos, los dos hombres despegaron de la superficie lunar, llegaron a su cita con el astronauta Michael Collins, que se encontraba en órbita lunar en el Módulo de Mando, y volvieron a la Tierra. Mientras tanto los soviéticos continuaron sus alunizajes "suaves" con sondas automáticas. En septiembre de 1970 hicieron alunizar un vehículo teledirigido que recogió muestras del suelo y las introdujo en un contenedor sellado que las trajo a la Tierra. En noviembre hicieron alunizar un vehículo automático con ruedas, teledirigiéndolo durante más de 12 km, en diez días lunares, mientras transmitía gran cantidad de imágenes por televisión. En mayo de 1971 enviaron sondas al suelo de Marte, recibiendo de ellas breves transmisiones.

Puede que el más ambicioso programa soviético fuera el *Soyuz*, que se inició en abril de 1967 con el lanzamiento de la que fue definida como "la más grande y compleja nave espacial que haya volado". En los cuatro años siguientes el programa *Soyuz* alcanzó algunos récords notables, entre ellos: numerosas citas y maniobras de atraque orbital, una triple cita con experimentos de soldadura en octubre de 1969, y una serie de tiempos de permanencia en el espacio cada vez más prolongados. En junio de 1971 la *Soyuz 2*, con una tripulación de tres hombres, se encontró con la estación orbital *Salyut*, pero este intento concluyó

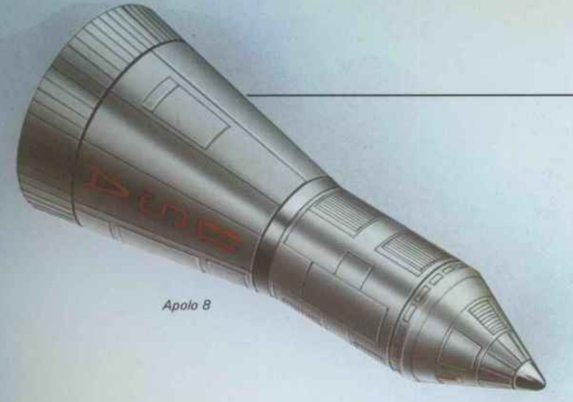


La misión a la Luna exige la elaboración de una trayectoria de lanzamiento continuamente perfeccionada por correcciones a lo largo de su curso. La ida se desarrolla poniendo previamente en órbita el sistema en torno a la Tierra; luego la órbita se ajusta y se puede dirigir hacia la Luna. Tras situarse en su órbita, se suelta el módulo lunar, que desciende al suelo con dos astronautas, mientras el tercero permanece en órbita. El regreso no es menos complicado que la ida.

Para conocer el suelo lunar mejor que con las imágenes imprecisas proporcionadas por los telescopios, se enviaron a la Luna las sondas *Ranger* (a la izquierda), que se estrellaban sobre su superficie, pero antes transmitían a la Tierra las imágenes recogidas con una telecámara que captaba los menores detalles. Más tarde fue puesto en órbita en torno a la Luna (abajo) un satélite dotado de un sistema de "sucesión" fotográfica que, con 60.000 imágenes, formaba el mapa lunar completo.

trágicamente debido al mal funcionamiento de una junta para el cierre hermético de la puerta, con la consiguiente pérdida de la reserva de aire de la estación espacial. Al finalizar 1971 los soviéticos lanzaban una serie de *Soyuz* y de vehículos espaciales automáticos de reabastecimiento de la serie *Progress* que lograban acoplarse, incluso en pareja, con la estación orbital *Salyut 6*. Durante el vuelo de la *Soyuz 6*, los dos hombres de la tripulación recibieron sucesivas visitas por parte de una segunda tripulación cuyos componentes permanecían a bordo durante períodos de casi una semana. El resultado más notable del programa *Soyuz*-

La sonda *Surveyor* fue la primera en posarse suavemente sobre la Luna (abajo, a la izquierda). En 1969, después de que el sistema de lanzamiento "Saturno"-"Apolo" había sido comprobado con muchos vuelos, se realizó el "desembarco" de los astronautas. Preciosa aparecía la Tierra (a la derecha) en el espacio lejano e impresionante desde el desolado paisaje lunar. Los astronautas podían moverse sobre el satélite con gran desenvoltura gracias al traje espacial. Al primer "desembarco" en el satélite siguieron otros, durante los cuales las exploraciones se realizaron inicialmente sólo en las cercanías del módulo de descenso, ampliándolas sucesivamente hasta distancias de varias decenas de kilómetros gracias a las posibilidades de transporte ofrecidas por el automóvil lunar (abajo), un vehículo capaz de moverse sobre suelo accidentado. Arriba, a la izquierda, una sonda con la cual la Unión Soviética realizó la exploración automática de la Luna.



Apolo 8

Salyut fue el establecer un récord de permanencia en el espacio de 184,9 días, una misión de más de seis meses comenzada en abril de 1980 con el vuelo de la *Soyuz 35*. La serie de esfuerzos soviéticos, concentrados en la idea de la estación orbital, parece indicar el objetivo de establecer una presencia constante en el espacio. Por otra parte, el esfuerzo estadounidense de vuelos tripulados, después del brillante éxito de las misiones lunares, fue notablemente aminorado durante los años setenta. Se realizaron tres misiones *Skylab*, con una duración de 28, 59 y 84 días, respectivamente, en mayo, julio y noviembre de 1973, con apreciables resultados científicos en los sectores de la Física solar, de la observación terrestre y la elaboración de materiales. En 1975 tuvo lugar el programa experimental *Apolo-Soyuz* para demostrar (con este gesto cargado de simbolismo) que las dos mayores potencias espaciales podían colaborar. Esta misión ensayó también un sistema de unión entre las naves, potencialmente útil en misiones de salvamento. En los años ochenta, los Estados Unidos iniciaron el programa *Space Shuttle* para hacer posible un fácil y frecuente acceso al espacio. El mayor esfuerzo de Estados Unidos se concentró en las sondas espaciales automáticas, con las cuales prosiguieron llevando cada vez más lejos los límites de la exploración espacial. Así, las sondas espaciales eran lanzadas últimamente para viajes que duraban años. Se realizaron investigaciones detalladas sobre Marte en 1976 y sobre Venus a principios de 1978. En 1974 se fotografió Mercurio, y seis años después, desde Júpiter y Saturno, a millones de kilómetros, se enviaron imágenes que han revelado detalles hasta entonces desconocidos de estos lejanos planetas, de sus anillos y satélites.

Era ya casi una tradición que el peso de la exploración espacial fuese sostenido por Estados Unidos y la Unión Soviética. Pero hoy, en los cielos un tiempo desiertos sobre la envoltura atmosférica de la Tierra, orbitan los satélites de muchas naciones: Gran Bretaña, Francia, Japón, China, Cánada, India, Alemania Occidental, y los de algunos países europeos asociados. Entre los más importantes están los satélites meteorológicos. El primero de estos, el *TIROS* (Satélite Televisivo y Observatorio de Infrarrojos), suministró la visión global y la señalización precoz de las formaciones borrascosas peligrosas, pero antes habían sido puestos en órbita satélites mucho más sofisticados que hicieron posible las previsiones de gran alcance mediante la medida de los perfiles térmicos e higrométricos verticales en las capas superiores de la atmósfera. Además, las fotografías de la superficie terrestre, obtenidas desde gran altura, han proporcionado nuevas perspectivas de la estructura del suelo y de su potencial hídrico. Es posible fotografiar y analizar el terreno cultivable no sólo por lo que se refiere al suelo y al contenido hídrico, sino también, por ejemplo, respecto a la presencia de insectos dañinos. Es asimismo posible determinar las necesidades de irrigación y programar los mejores medios para proveerlas con mucha mayor precisión que antaño.

Los ojos que todo lo ven Un gran número de satélites en órbita, lanzados sobre todo por Estados Unidos y la URSS, son utilizados para el espionaje militar. Mediante lentes de nueva concepción, las imágenes obtenidas por satélites pueden captar con excepcional nitidez las acciones militares de las dos superpotencias. Incluso es posible observar las actividades en zonas suburbanas de las grandes ciudades, y las

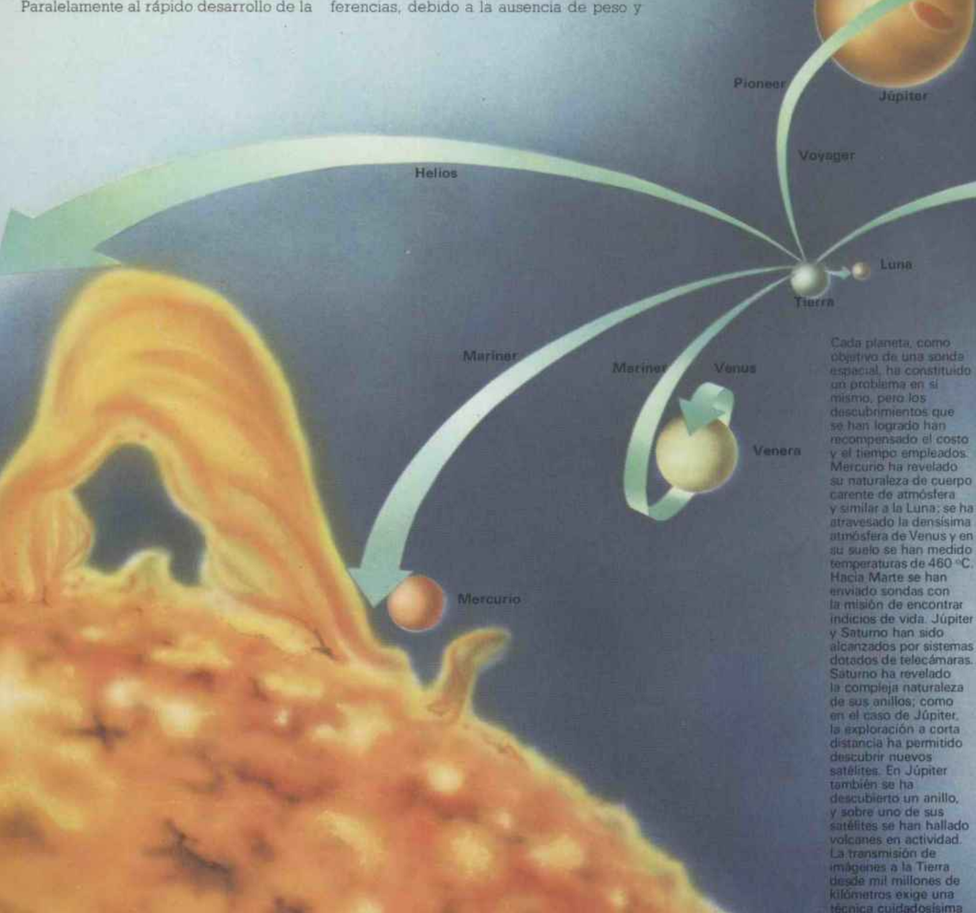
Abajo, el vehículo lunar soviético con el que se realizó una larga exploración guiada desde la Tierra por medio de la televisión. El conductor del vehículo era capaz de enviar desde la Tierra las señales de aceleración, frenado y giro, recibiendo desde el mismo imágenes a la velocidad de la luz, es decir, con un retraso de un segundo y cuarto. También sus órdenes llegaban al vehículo con retraso y esto causaba dificultades en la conducción.

vehículo lunar *Lunakhod*

instalaciones de bases de misiles o silos de lanzamiento no pueden pasar inadvertidas. También es posible descubrir los submarinos en inmersión mediante la captación de imágenes de infrarrojos de la estela, que se distingue en la fotografía porque en esa zona el agua está más caliente que la masa circundante. Tienen gran importancia los programas para descubrir las explosiones nucleares subterráneas, en superficie o en la atmósfera.

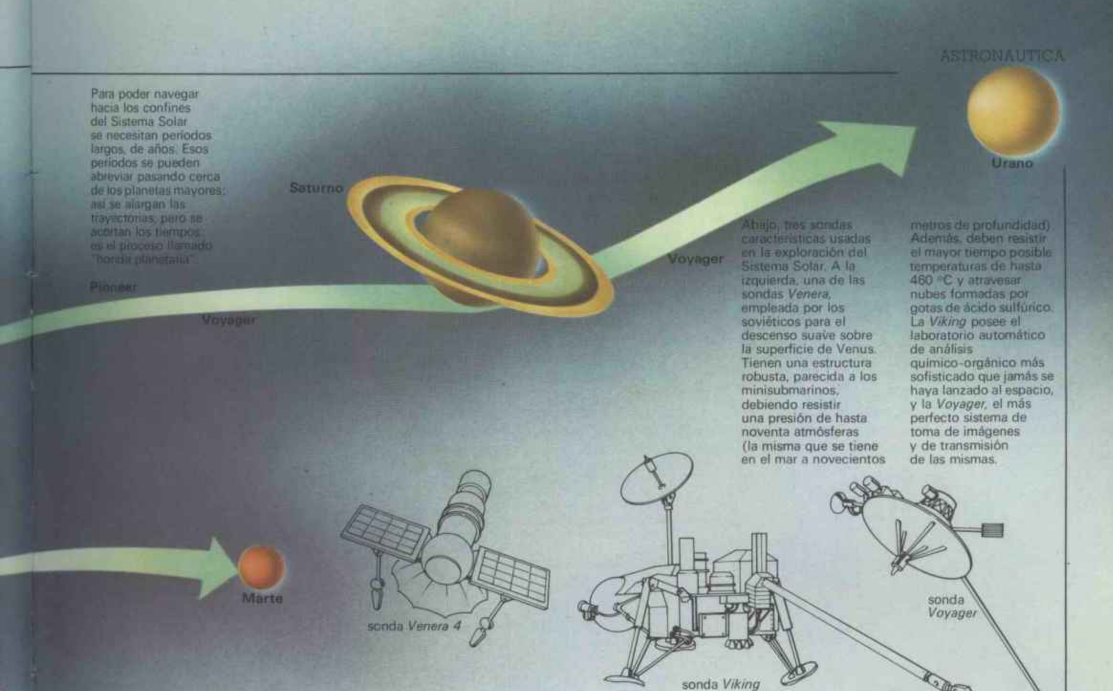
En la Tierra, los telespectadores se benefician de las comunicaciones vía satélite, que enlazan la radio comercial y los sistemas telefónicos; como también de imágenes de televisión clarísimas de cualquier punto de la Tierra.

Paralelamente al rápido desarrollo de la historia de la exploración espacial, ha nacido una novísima ciencia: la de atravesar y recorrer las enormes distancias entre los astros. La Astronáutica es para los viajes espaciales como la Aeronáutica para los vuelos en la atmósfera. Pero todas las leyes relativas son distintas en ellas, puesto que los aviones deben someterse a la gravedad; mientras que las astronaves, una vez en vuelo, no están sujetas a dicha fuerza. Los aviones son sostenidos por la atmósfera; las naves espaciales conocen la atmósfera únicamente como un enemigo mortal que produce un calor insoportable en la reentrada. Quien vuela en un avión distingue un horizonte, un arriba y un abajo; quien vuela en una astronave no tiene ninguna de estas referencias, debido a la ausencia de peso y



El Sistema Solar ha sido recorrido por las trayectorias de innumerables sondas espaciales. También se han aproximado al Sol, pero no demasiado, para evitar la destrucción del vehículo a causa de la radiación. Una órbita circunterrestre tiene 40.000 km; la distancia Tierra-Luna es de poco más de un tercio de millón de kilómetros. Pero el vuelo a los planetas cercanos exige recorridos de cientos de millones de kilómetros, y el vuelo a los planetas lejanos, de miles de millones de kilómetros.

Cada planeta, como objetivo de una sonda espacial, ha constituido un problema en sí mismo, pero los descubrimientos que se han logrado han recompensado el costo y el tiempo empleados. Mercurio ha revelado su naturaleza de cuerpo carente de atmósfera y similar a la Luna; se ha atravesado la densísima atmósfera de Venus y en su suelo se han medido temperaturas de 460 °C. Hacia Marte se han enviado sondas con la misión de encontrar indicios de vida. Júpiter y Saturno han sido alcanzados por sistemas dotados de telecámaras. Saturno ha revelado la compleja naturaleza de sus anillos; como en el caso de Júpiter, la exploración a corta distancia ha permitido descubrir nuevos satélites. En Júpiter también se ha descubierto un anillo, y sobre uno de sus satélites se han hallado volcanes en actividad. La transmisión de imágenes a la Tierra desde mil millones de kilómetros exige una técnica cuidadosísima y el empleo de baterías muy potentes, a base de fuentes radiactivas de calor y convertidores termoeléctricos.



Para poder navegar hacia los confines del Sistema Solar se necesitan periodos largos, de años. Esos periodos se pueden abreviar pasando cerca de los planetas mayores: así se alargan las trayectorias, pero se acortan los tiempos: es el proceso llamado "honda planetaria".

Abajo, tres sondas características usadas en la exploración del Sistema Solar. A la izquierda, una de las sondas *Venera*, empleada por los soviéticos para el descenso suave sobre la superficie de Venus. Tienen una estructura robusta, parecida a los minisubmarinos, debiendo resistir una presión de hasta noventa atmósferas (la misma que se tiene en el mar a novecientos metros de profundidad). Además, deben resistir el mayor tiempo posible temperaturas de hasta 460 °C y atravesar nubes formadas por gotas de ácido sulfúrico. La *Viking* posee el laboratorio automático de análisis químico-orgánico más sofisticado que jamás se haya lanzado al espacio, y la *Voyager*, el más perfecto sistema de toma de imágenes y de transmisión de las mismas.

de puntos fijos visibles en el vacío. En realidad, las astronaves no vuelan en absoluto, sino que son lanzadas desde tierra como proyectiles. Sin encontrar ninguna resistencia, siguen la trayectoria sobre la que han sido lanzadas —su ruta inicial— hasta que un ligero empuje de uno de sus cohetes de maniobra les hace cambiar de ruta. Las astronaves, por lo tanto, deben seguir un programa de vuelo prefijado. Como las condiciones del espacio son invariables —ausencia de viento y de atmósfera—, es posible calcular anticipadamente el vuelo de una astronave, incluso si es de millones de kilómetros. El programa completo, con las eventuales correcciones de ruta necesarias, es introducido en un ordenador que en gran parte guía automáticamente la astronave. El empuje inicial para el vuelo es suministrado por el cohete portador. Una vez consumido el combustible, la primera etapa se separa. Entonces se enciende la segunda etapa para empujar la astronave a su órbita. Una tercera etapa puede dar un breve impulso (una "llamarada") para empujar la astronave a la velocidad de escape, aproximadamente de 40.500 km/hora, es decir, aproximadamente 11.260 m/segundo. En este punto, no se trata únicamente de aumentar la velocidad de 29.000 km/hora con la cual una astronave entraría en órbita circular en torno a la Tierra; es una maniobra que debe ser cuidadosamente calculada, programada con precisión y perfectamente ejecutada, ya que la continuación del viaje de la astronave depende de ello. El aumento de la velocidad con una "llamarada" del cohete tiene por efecto cambiar la órbita de la astronave, de circular a elíptica. Cuanto mayor sea su velocidad tanto más larga es la elipse. Finalmente, alcanzada la velocidad de escape, la elipse "se abrirá bruscamente" y se convertirá en una parábola en la cual la astronave se dirige hacia la profundidad del espacio, sobre uno de los brazos abiertos de dicha parábola. Supongamos que se dirige hacia la Luna. En el momento en que la nave escapa de la trayectoria de su vuelo orbital, debe ser dirigida con precisión hacia el objetivo para alcanzar la Luna; no es posible, como ocurre en un avión, corregir la trayectoria de vuelo con la simple utilización de un timón. Todos los factores inherentes al alcance de la velocidad de escape —la velocidad de la astronave en órbita, la potencia del cohete, la duración de la "llamarada"— deben ser tenidos en cuenta al calcular el movimiento, y esto, naturalmente, vale también para la posición en vuelo de la astronave. Si ésta está mal colocada, por poco que sea, no alcanzará el objetivo. Si el viaje tiene lugar hacia metas más lejanas, entonces tendrán que traducirse en cifras los campos gravitacionales de los otros cuerpos celestes para calcular la trayectoria, puesto que, aunque la astronave los supere, sus campos gravitacionales ejercerán sobre ella una fuerza de atracción y deberán realizarse ciertas correcciones de ruta para que la nave no resulte desviada de la trayectoria deseada. Es posible efectuar tales correcciones con gran precisión mediante el impulso obtenido liberando pequeñas cantidades de gas comprimido, que se halla en diversos depósitos instalados en la nave. Una vez en posición correcta, puede ser desviada hacia una nueva ruta encendiendo un pequeño motor cohete durante un tiempo prefijado. Así ha sido posible realizar empresas tan extraordinarias de navegación espacial como los alunizajes "suaves", los pasos cerca de los planetas, los descensos sobre Marte y las exploraciones con sondas de los lejanos Júpiter y Saturno. Para estas últimas se han aprovechado los campos gravitacionales de los planetas por cuya proximidad se pasa a lo largo de la ruta, no sólo para efectuar las necesarias correcciones de ruta, sino también para ahorrar combustible, al aumentar la velocidad de la astronave con el "efecto honda": la astronave entra en el campo gravitacional y, ganando velocidad, es "proyectada" lejos del planeta, sobre su recorrido, a lo largo de una nueva ruta. Los cálculos que estas operaciones conllevan se realizan con ordenadores, que siguen necesariamente el desarrollo del vuelo de cada sonda, su misión, instalados a bordo de la misma. En algunas circunstancias, los ordenadores han participado incluso en las operaciones de emergencia que han salvado la vida de los astronautas.

Véase **Antena; Astronauta**

Astronomía

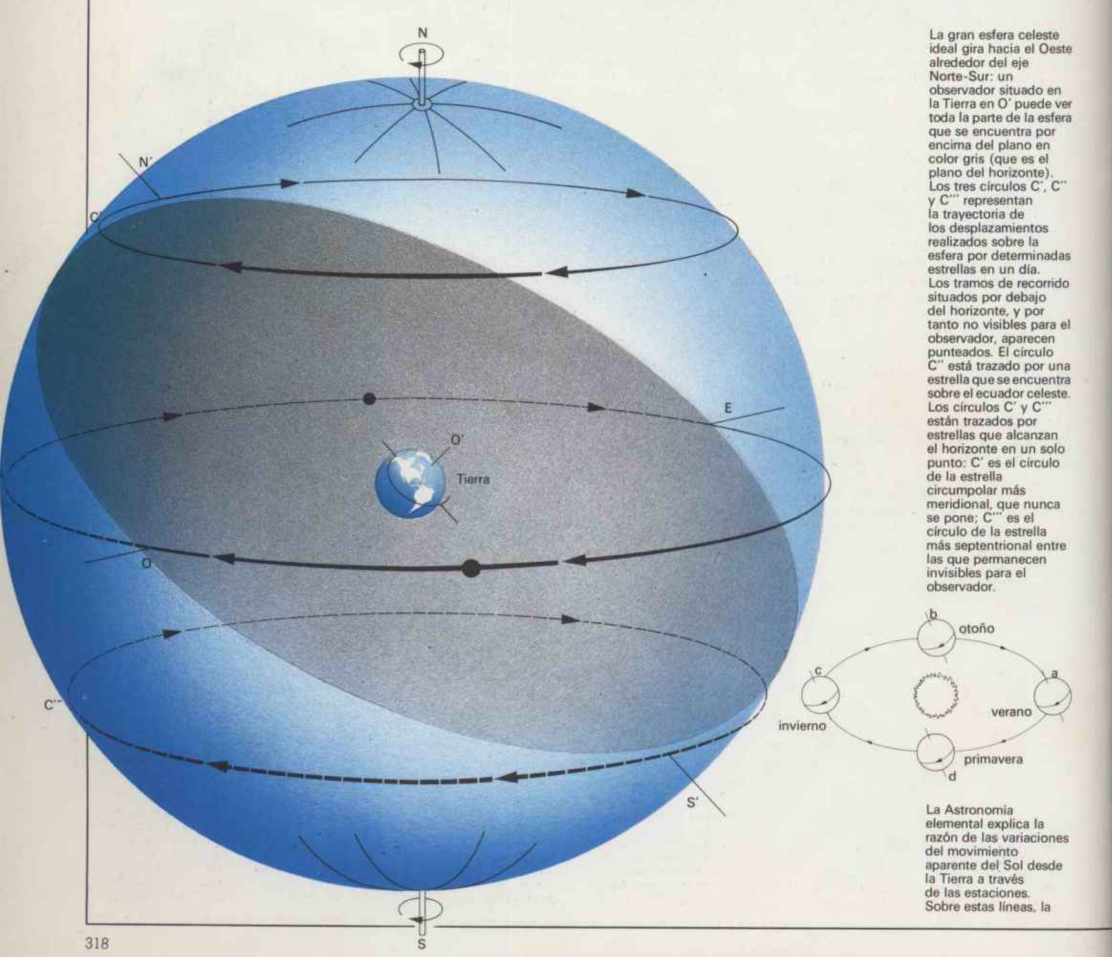
Cuando, hace tres mil años, dos campesinos egipcios o chinos se citaban a cierta hora de la noche, podían ser puntuales, ya que eran capaces de leer la hora, no en un reloj, que aún no existía, sino en el firmamento, observando la posición de las estrellas. Esos hombres sabían, además, con precisión, los días en que debían sembrar, recolectar o efectuar las tareas agrícolas intermedias. También en este caso lo lograban gracias a que conocían las estaciones por la posición de los astros.

Actualmente, cualquiera que haya estudiado el movimiento de los astros es capaz de predecir, consultando un calendario y un reloj, el lugar del firmamento en el que se puede observar un astro determinado.

Lo que sabían hacer en al Antigüedad y lo que hoy sabemos son el resultado de los hallazgos de una misma ciencia, la *Astronomía*, que estudia la localización, movimientos, composición, estado físico y evolución de los cuerpos celestes, y, en general, de toda la materia existente en el Universo.

La antigua Astronomía Hace dos mil años, un astrónomo griego, Hiparco, observó la aparición de una nueva estrella en el cielo. Antes la estrella no era visible, lo que le llevó a la conclusión de que el firmamento era un lugar en el que se producían variaciones. Por esta razón, tuvo la idea de trazar mapas del cielo en los que señalar la posición de todas las estrellas visibles, anotando, además, su luminosidad relativa, de forma que fuera posible descubrir y registrar las variaciones que se observasen en el firmamento.

Hiparco no fue el primero; antes que él, los astrónomos chinos eran capaces de predecir los eclipses de Sol y de Luna, y en casi todas las culturas de la Antigüedad se habían realizado calendarios precisos, basados en la observación de los astros. Además, se había notado que en el cielo nocturno los astros podían diferenciarse en *fijos*, como las estrellas que siempre formaban el mismo dibujo en el cielo a pesar del paso de los años, y en *astros errantes* o planetas, que se movían con relación a las estrellas fijas, aunque más lentamente que el Sol y la Luna. La disposición de los planetas en el cielo, y su movimiento respecto al Sol y a la Tierra, fue el problema que ocupó a los astrónomos desde finales de la civilización griega hasta los comienzos del Renacimiento, época en que la comunidad de científicos se convenció de la disposición de los planetas alrededor del Sol (*hipótesis copernicana*, enfrentada a la *tolemaica* que consideraba a la Tierra como el centro del Universo) y formuló la teoría fí-



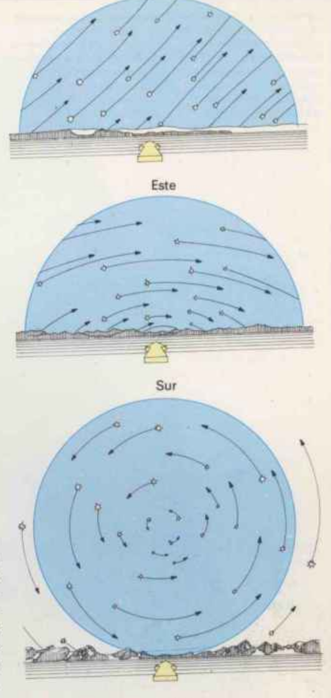
La gran esfera celeste ideal gira hacia el Oeste alrededor del eje Norte-Sur: un observador situado en la Tierra en O' puede ver toda la parte de la esfera que se encuentra por encima del plano en color gris (que es el plano del horizonte). Los tres círculos C', C'' y C''' representan la trayectoria de los desplazamientos realizados sobre la esfera por determinadas estrellas en un día. Los tramos de recorrido situados por debajo del horizonte, y por tanto no visibles para el observador, aparecen punteados. El círculo C'' está trazado por una estrella que se encuentra sobre el ecuador celeste. Los círculos C' y C''' están trazados por estrellas que alcanzan el horizonte en un solo punto: C' es el círculo de la estrella circumpolar más meridional, que nunca se pone; C''' es el círculo de la estrella más septentrional entre las que permanecen invisibles para el observador.

La Astronomía elemental explica la razón de las variaciones del movimiento aparente del Sol desde la Tierra a través de las estaciones. Sobre estas líneas, la



El sistema tolemaico consideraba la Tierra en el centro del Universo, y todos los demás astros, en movimiento alrededor de ella, sostenidos por esferas transparentes concéntricas a ella; la mayor de todas, la de las estrellas fijas, era opaca y guardaba la luz del *cielo* de las almas bienaventuradas.

El sistema copernicano es capaz de explicar el movimiento de los planetas y de las estrellas con el giro de la Tierra, que ya no está en el centro del Universo; en su lugar está el Sol. Las órbitas de los planetas siguen considerándose circulares; se trata de un esquema inicial.

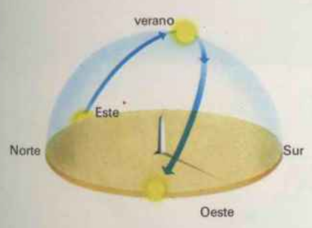


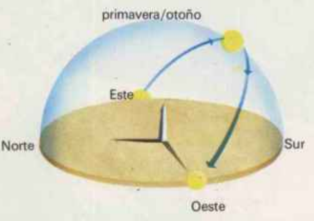
sica que explicaba las leyes de atracción entre los astros y la determinación de sus movimientos. Isaac Newton, que desarrolló esta teoría, elaboró también su formulación matemática, para lo cual tuvo que desarrollar el llamado "análisis infinitesimal", con el que era posible efectuar los cálculos necesarios para todas las previsiones del movimiento de los astros que entonces se podían observar y de los que aún no habían sido descubiertos.

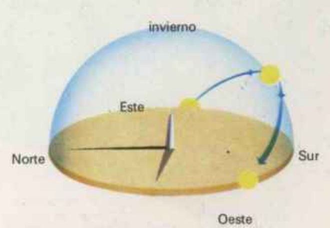
A finales del siglo XIX las preguntas que los científicos se planteaban en torno a la naturaleza de los astros quedaron cada vez más separadas de los problemas relacionados con la posición y movimientos de éstos, y constituyeron lo que actualmente se llama *Astrofísica*.

La esfera celeste El punto de partida de todas las observaciones astronómicas es la posición de los astros. Cualquiera que sea el punto de la Tierra o del espacio desde el que observemos, los astros parecen colocados en el interior de una gran esfera hueca y oscura, la *esfera celeste*, que es una pura construcción intelectual. Sin embargo, como desde la Tierra se pueden observar astros en todas las direcciones, es necesario describir antes que nada las "direcciones" en las que se observan los astros. Por esta razón, la Astronomía traza, sobre la superficie ideal de esa esfera, círculos que la subdividen, de forma que cualquier astro pueda ser localizado refiriéndolo a una pareja de círculos que se encuentra formando ángulo recto, del mismo modo que para señalar la posición de una ciudad sobre un continente resulta cómodo dividir la esfera terrestre mediante meridianos y paralelos, de forma que la localización pueda ser expresada según su *longitud* y su *latitud*. Esas coordenadas pueden calcularse de forma cómoda: la latitud, observando simplemente la altura de un astro sobre el horizonte; y la longitud, por la simple medida de la diferencia de tiempo que tarda en pasar sobre la vertical del lugar en cuestión y la de Greenwich, observatorio en las afueras de Londres por el que, por convenio, pasa el meridiano 0°.

Para el cielo, también es necesario elegir un sistema de coordenadas que ofrezca parecidas facilidades que el terrestre. La diferencia fundamental consiste en que en este caso la esfera es el firmamento, es de-



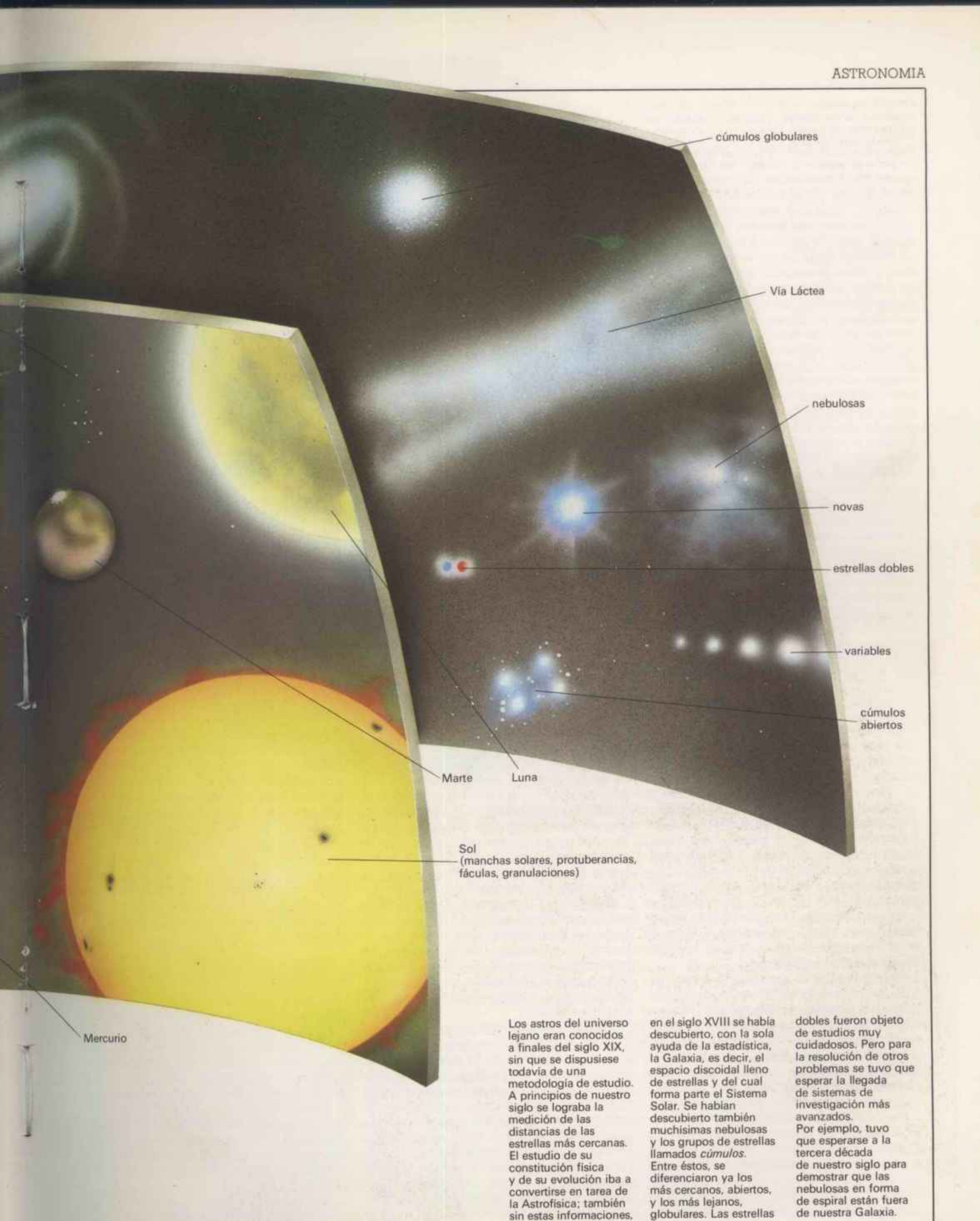




Tierra en su órbita alrededor del Sol, la cual recorre manteniendo el eje siempre con la misma inclinación respecto al plano de la órbita (plano de la eclíptica). Por esta razón, cuando se encuentra en (a), en el hemisferio boreal el eje está inclinado hacia el Sol y todo el hemisferio lo ve sobre el horizonte durante mucho más de doce horas. En (b) y (d), tanto el hemisferio austral como el boreal ven el día dividido exactamente en dos partes iguales; en esos días el Sol se encuentra en el punto en que la eclíptica intersecciona el ecuador celeste; por lo tanto, el Sol sale por el Este y se pone por el Oeste. Además, pasa sobre el Sur un poco más bajo. En invierno la Tierra se encuentra en (c) y el hemisferio boreal está en el lado opuesto al del Sol, que, con un breve arco, pasa a la mínima altura sobre el horizonte. El movimiento de las estrellas visto desde una latitud mediana es: en (a) al Este, en (b) al Sur, en (c) al Oeste.

En estas dos páginas se muestran dos facetas de la Astronomía moderna, que se ocupan de dos partes del Universo: el cercano y el lejano. El primero puede ser considerado como el dominio de los planetas; el lejano, el de las estrellas y otros cuerpos celestes. En el estudio del universo cercano se han interesado los astrónomos desde la época de Galileo hasta finales del siglo XIX, cuando en la investigación astronómica se introdujo el análisis espectral y dio comienzo la era de la Astrofísica. Abajo, los instrumentos utilizados durante todo el siglo XIX. Con ellos han sido descubiertos los planetas más lejanos, muchos de sus satélites y los datos relativos a la distancia de las estrellas y de las galaxias.



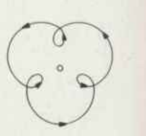


Los astros del universo lejano eran conocidos a finales del siglo XIX, sin que se dispusiese todavía de una metodología de estudio. A principios de nuestro siglo se lograba la medición de las distancias de las estrellas más cercanas. El estudio de su constitución física y de su evolución iba a convertirse en tarea de la Astrofísica; también sin estas informaciones, en el siglo XVIII se había descubierto, con la sola ayuda de la estadística, la Galaxia, es decir, el espacio discoidal lleno de estrellas y del cual forma parte el Sistema Solar. Se habían descubierto también muchísimas nebulosas y los grupos de estrellas llamados *cúmulos*. Entre éstos, se diferenciaron ya los más cercanos, abiertos, y los más lejanos, globulares. Las estrellas dobles fueron objeto de estudios muy cuidadosos. Pero para la resolución de otros problemas se tuvo que esperar la llegada de sistemas de investigación más avanzados.
Por ejemplo, tuvo que esperarse a la tercera década de nuestro siglo para demostrar que las nebulosas en forma de espiral están fuera de nuestra Galaxia.

cir, no se trata de una superficie tangible como la de la Tierra; además, existen distintos tipos de astros que aconsejan la elección de varios sistemas de coordenadas.

En la práctica se utilizan tres tipos de sistemas de coordenadas. El primer sistema es el que se obtendría si la Tierra fuese hueca, la superficie transparente y en el centro hubiese una lámpara que proyectara en el cielo las coordenadas terrestres. El equivalente de la latitud se llama *declinación*, y el de la longitud, *acimut*. El segundo sistema es el de coordenadas eclípticas el equivalente del ecuador es la "eclíptica", es decir, la proyección en la esfera celeste del plano de la órbita terrestre; las coordenadas correspondientes se llaman *longitud* y *latitud*. El tercer sistema de coordenadas es el apropiado para describir la posición de los astros lejanos, inmersos en las profundidades de la galaxia. Se basa en la posición de la Vía Láctea y tiene como ecuador el círculo máximo de la esfera celeste que la atraviesa, es decir, el plano de simetría del disco de la galaxia, plano en el que se encuentra la Tierra. El círculo máximo que corta a la Vía Láctea se llama *ecuador galáctico*, cortado perpendicularmente por los *meridianos galácticos*, que se unen en los *polos galácticos*.

Con sencillos cálculos y fórmulas, del mismo tipo que las utilizadas por los navegantes para determinar su posición en el mar mediante los astros, es posible transformar de uno a otro sistema las coordenadas de un astro. Gran parte de la *Astronomía observativa* se dedica a la determinación de las coordenadas de los astros en uno u otro sistema.



A la izquierda se muestra cómo se mide la distancia a una estrella con el método de la paralaje geométrica. Un observador en la Tierra localiza la estrella cuando el planeta se encuentra en el extremo (a) de su órbita. Seis meses más tarde se encuentra en (b); habiéndose desplazado un poco a la izquierda, la estrella aparecerá algo más a la derecha. En el campo del telescopio, o mediante fotografías, se observa la estrella en dos posiciones diferentes, a' y b'. De este desplazamiento puede deducirse la distancia a que está la estrella. A la derecha, aparece la explicación de una de las características del movimiento aparente de los planetas en el firmamento, que era una de las cuestiones que más intrigaba a los partidarios del sistema tolemaico, que consideraba al planeta Tierra como centro del Universo. Desde la órbita de la Tierra, la de un planeta más alejado del Sol (como, por ejemplo, Marte) se ve con irregularidades al moverse el observador; es decir, debido al movimiento del observador da la sensación de que el planeta avanza, se detiene o retrocede. El sistema tolemaico recurrió a la hipótesis de que el planeta era llevado por una esfera menor (*deferente*) sobre la esfera mayor; la combinación del movimiento de las dos esferas originaba un movimiento epicicloidal, artificio difícil de sostener.

La Astronomía planetaria La Astronomía también se ocupa del estudio de los movimientos de los astros en el sistema planetario. Este estudio utiliza instrumentos para determinar la posición de un astro en el firmamento en cierto instante, que se compara con la que se había previsto teóricamente. Si es distinta, no quiere decir que el cálculo esté equivocado. Probablemente ocurre que las fórmulas utilizadas resultan demasiado simples para describir el movimiento del astro. Por ello, las diferencias entre los resultados del cálculo y de las observaciones sirven precisamente para el control de esas fórmulas, que se mejoran en las siguientes previsiones.

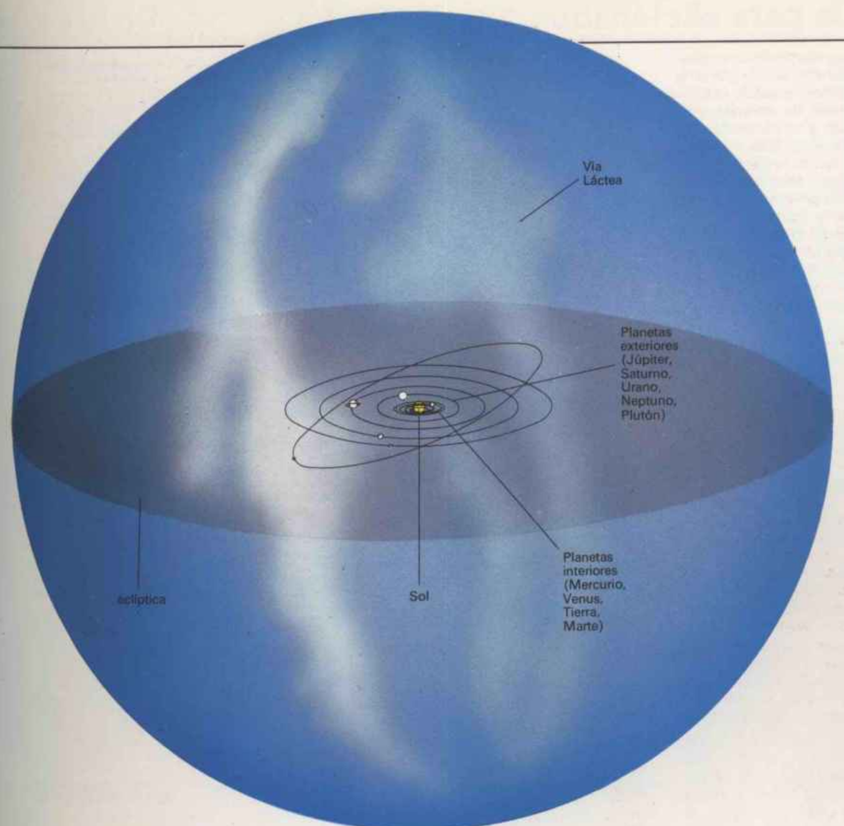
Para predecir el movimiento de los astros, la Astronomía utiliza la Mecánica celeste. Sus fórmulas se aplican a la gran variedad de problemas que ofrece el firmamento. El problema más simple es el del movimiento de los planetas alrededor del Sol. Si alrededor del astro hubiese un solo planeta, el problema sería muy sencillo: bastaría la aplicación de las *leyes de Kepler* o poco más para determinar su movimiento. Sin embargo, los planetas son muchos y al moverse se "influyen", o, como se dice en Astronomía, se *perturban*. La Mecánica celeste considera también esas perturbaciones, y de esta forma es posible predecir con mucha exactitud el movimiento de los planetas. Es más: la exactitud es tan grande, que a principios del siglo XIX se observó que el movimiento del planeta Urano no era descrito correctamente por ningún conjunto de fórmulas que tuviera en cuenta la presencia de los planetas conocidos; se dedujo entonces que tenía que haber otro planeta, desconocido, e incluso se determinó su posición sin haberlo descubierto. De esa forma, el cálculo condujo al descubrimiento del planeta Neptuno.

También el movimiento de los satélites puede predecirse con gran precisión: el *Almanaque Astronómico* que se publica en Inglaterra y Estados Unidos contiene las previsiones de la posición de todos los planetas y de los principales satélites, sin excluir el lejano y casi invisible Caronte, satélite de Plutón.

Aunque pueda parecer paradójico, la Luna es el astro que viene dando más que hacer a los astrónomos. Su movimiento puede ser observado con gran precisión (desde 1969, cuando los astronautas del proyecto *Apolo* colocaron sobre nuestro satélite un reflector de láser, la distancia de la Luna puede medirse con un error no superior a 15 cm); la Luna sigue a la Tierra en todos sus movimientos y puede ser fuertemente perturbada por los planetas cercanos; por lo tanto, su movimiento es de difícil precisión. Hay, sin embargo, "momentos de la verdad" para su movimiento: aquéllos en que se alinea con el Sol y se producen los *eclipses*. Los astrónomos saben predecir con anticipación de años el instante preciso en que se va a producir un eclipse de Sol, pero es difícil que el error de previsión sea menor de medio segundo. Por esta razón, la observación del instante en el que se produce un eclipse de Sol (en los de Luna los instantes característicos no se determinan con facilidad) es científicamente muy importante, ya que permite determinar la exactitud de las fórmulas de predicción y corregirlas.

La Astronomía estelar Desde que Hiparco elaboró el primer catálogo de estrellas, los astrónomos han perfeccionado mucho sus métodos de cartografía estelar. Observan las estrellas con telescopios de pequeña dimensión montados de forma que sólo pueden ver los puntos del meridiano, es decir, los del círculo que divide en dos partes la esfera celeste pasando por el punto cardinal Norte y el punto cardinal Sur. Todas las estrellas pasan por el meridiano dos veces al día, y por la altura del paso sobre el Sur y la hora se llega a la posición respecto a las coordenadas de la esfera celeste.

Si se completa la de la medición de las coordenadas con la de la luminosidad rela-



La concepción moderna del Sistema Solar ve al Sol y a los planetas no sólo situados de una forma determinada los unos respecto a los otros, sino también moviéndose sobre órbitas de forma muy precisa: en particular, y al menos en primera aproximación, elípticas, como descubrió Kepler. Además, las observaciones y medidas de los astrónomos del siglo XVIII y del XIX han servido para determinar las correctas configuraciones de las órbitas de los planetas respecto a la de la Tierra. A finales del siglo XVIII fue descubierto el planeta Urano; a mediados del XIX, Neptuno, y al principio de la tercera década del siglo XX, Plutón. En el mismo período se descubrieron prácticamente todos los satélites de los planetas que son visibles con telescopio. Nuevos satélites se descubrirán gracias a los instrumentos situados a bordo de sondas espaciales. La Astronáutica utiliza para la navegación interplanetaria los métodos de cálculo puestos a punto por los astrónomos del siglo XIX. En el dibujo de la izquierda son visibles las órbitas de los planetas exteriores y la fuerte inclinación de la órbita de Plutón.

tiva del astro, es entonces posible disponer de los datos necesarios para el trazado de un mapa en el que aparece la posición de la estrella, rodeada por un circulito que representa, mediante su diámetro, la luminosidad aparente de la misma. A principios del siglo XIX las mediciones astronómicas se hicieron tan precisas, que se podía notar el pequeño desplazamiento aparente que presentaban las estrellas cuando eran observadas desde las dos posiciones opuestas que la Tierra ocupa en su órbita cada seis meses. Este pequeño desplazamiento aparente de la estrella, la *paralaje*, permite medir la distancia a la que se encuentra. Aunque esta medición sólo resulta posible en el caso de unas pocas estrellas cercanas, es de fundamental importancia para la Astronomía y la Astrofísica.

A partir de las pequeñas variaciones de la posición de las estrellas se puede deducir sus eventuales movimientos en el firmamento. Las llamadas *estrellas fijas* han recibido un nombre acertado, ya que sus posiciones no han variado apreciablemente durante las épocas históricas. Y es que las precisas mediciones efectuadas con los instrumentos actuales permiten reconstruir el movimiento de las estrellas, al menos de las más cercanas al Sistema Solar.

Si los telescopios permiten observar dos estrellas que giran una cerca de la otra donde a simple vista sólo se puede apreciar un punto luminoso, es la Astronomía la que se ocupa de predecir el movimiento de la pareja y de determinar sus características mecánicas —difíciles de observar—, las particularidades del movimiento y si existen cuerpos oscuros —podrían ser planetas— cercanos a la pareja y ligados a ella.

La Astronomía del universo lejano El Universo muy alejado de nuestra galaxia es el reino de la Astrofísica: pero esta ciencia podría hacer bien poco si no tuviese la guía de las leyes simples de la Astronomía, que le permiten determinar las distancias y construir las hipótesis sobre los lentos movimientos de los astros que pueblan los lejanos confines del Universo.

Las galaxias giran alrededor de sus centros: ¿la rotación tiende a mantenerlas unidas o a separarlas? Las galaxias a veces se aproximan a corta distancia: ¿tiende la atracción de una sobre otra a desgajarlas, y cuál de las dos galaxias sufrirá en mayor grado el encuentro? Las galaxias se unen para formar gigantescos cúmulos: ¿los que se conservan son estables? ¿tienen una edad del orden de la del Universo? La Astronomía dispone de métodos para tratar cada uno de estos problemas y puede suministrar una respuesta para estas preguntas que sirva para discutir también los problemas cosmológicos. Los métodos con los que hoy se controlan y dirigen las sondas espaciales en su vuelo hacia los planetas lejanos, pasando entre sus complejos sistemas de satélites, derivan de los métodos que generaciones de matemáticos y de astrónomos han puesto a punto para resolver el antiguo problema del movimiento de los planetas que tanto había interesado a los astrónomos de la Antigüedad.

Véase **Asteroide; Astrofísica; Astronáutica; Astronomía para aficionados; Constelaciones; Electromagnetismo; Estrella; Galaxia; Planetas; Radioastronomía; Satélite; Telescopio y radiotelescopio; Telescopio para aficionados**

Astronomía para aficionados

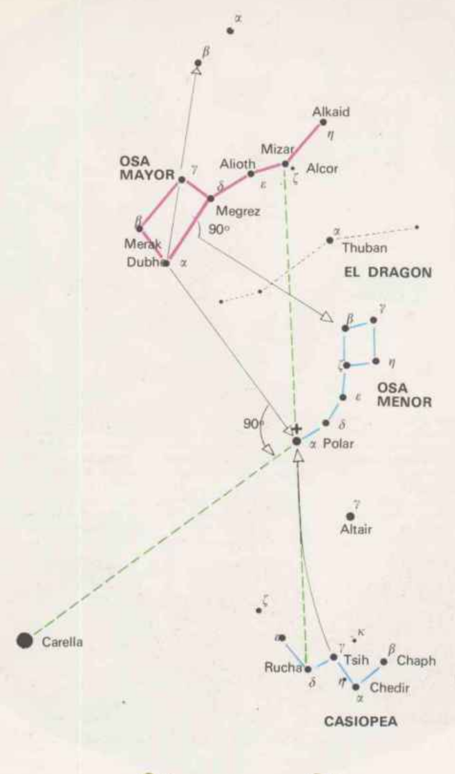
Cualquiera que se haya detenido alguna noche a contemplar sin prisas la Luna o el cielo estrellado posee los requisitos indispensables para ser astrónomo aficionado: la curiosidad y la capacidad de observación. Algunos de los más importantes descubrimientos no han sido realizados por astrónomos profesionales sino por aficionados, como ocurrió en el caso de los japoneses Kaoru Ikeya y Tsutomu Seki, cuyos nombres han quedado escritos en los anales de la Astronomía a partir de 1965 por el descubrimiento del cometa Ikeya-Seki.

Muchos museos de Historia Natural poseen planetarios e imparten cursos para astrónomos aficionados; algunos incluso enseñan a construir telescopios. Un aficionado puede resultar muy útil en campos como el estudio de los minúsculos planetas conocidos como *planetoides* o *asteroides*, y en otros campos (como las estrellas variables), en los cuales la observación sistemática es tan importante que es impensable que pueda ser realizada por el número relativamente pequeño de astrónomos profesionales que operan en el mundo. Muchas revistas publican cada mes mapas estelares con las instrucciones para su empleo, y muchas bibliotecas públicas poseen libros utilizables por cualquiera que esté interesado en desarrollar sus actividades como astrónomo *amateur*.

Aunque el aficionado suele pasar pronto desde los prismáticos al telescopio, comprando o construyendo estos instrumentos por sí mismo, puede iniciarse también haciendo astronomía a simple vista: ésta ofrece oportunidades a las personas que se deciden por primera vez a observar el Universo. Después del Sol y la Luna, el primer grupo de cuerpos celestes que se aprende a reconocer es, en el hemisferio Norte, el de la Osa Mayor o Gran Carro. Los astrónomos conocen este grupo, que es una constelación, con el nombre latino de *Ursa Maior*.

Las estrellas que forman una constelación se designan mediante letras griegas seguidas del nombre de la constelación; las letras se toman en orden desde la primera del alfabeto a la última, y se asignan a las estrellas en orden decreciente de luminosidad. Por ejemplo, la estrella más luminosa de la Osa Mayor es *alfa Ursae Maioris* (es decir, la estrella más luminosa de la Osa Mayor). Por ello, los manuales para aficionados en Astronomía describen el cielo señalando las constelaciones con su nombre, y los de las estrellas con letras griegas. De ahí que si realmente quiere uno saber orientarse en el Universo es aconsejable aprenderse los nombres latinos de las constelaciones y el alfabeto griego.

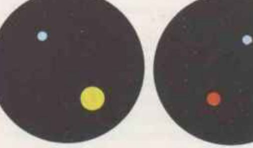
Muchos libros para astrónomos aficionados parten de una descripción detallada de la Osa Mayor, ya que, además del hecho de que esta constelación es interesante por sí misma, sus dos estrellas más luminosas sirven de guía para encontrar la Estrella Polar, que los astrónomos llaman *Polaris* y que, por ser la estrella más luminosa de la



El primer paso para iniciarse en la en la observación no profesional del cielo consiste en el estudio de la disposición de las estrellas en el firmamento. Y como, en general, no será posible disponer de telescopios que permitan la localización de un astro mediante coordenadas, se necesitará conocer la ubicación de los objetos celestes. Para conocer la "topografía" celeste es útil comenzar comparando lo que se ve con los dibujos de constelaciones trazados en mapas (los primeros es mejor que presenten sólo las estrellas visibles a simple vista). En esta fase es muy importante poder "asociar", unos con otros, los dibujos de varias constelaciones. Por ejemplo, en el mapa de la izquierda se ve cómo las dos primeras estrellas de la Osa Mayor están alineadas con la Polar de la Osa Menor. Además, desde el trapecio de la Osa Mayor se va derecho hacia Kochab, la segunda estrella de la Osa Menor. La Osa Mayor y Casiopea son opuestas respecto de la Polar, y la "cola" de la Osa Menor apunta hacia la lejana Capella. *Alfa* y *Gamma* de la Osa Mayor apuntan sobre las dos más luminosas de los Lebreles. Con estas alineaciones resulta más fácil localizar los astros.

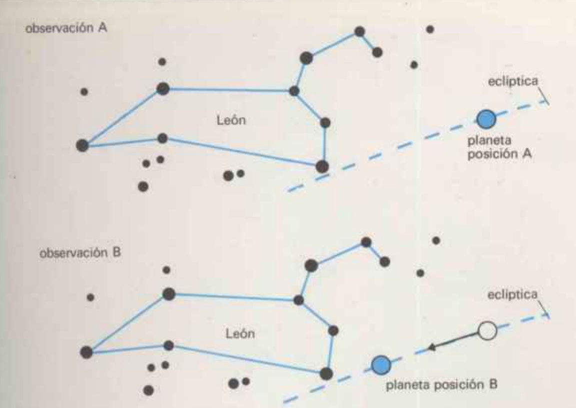


Algunas estrellas no resplandecen con luz constante, sino que van variando en el tiempo. Estas variaciones, además de ser sugerentes, denotan fenómenos físicos importantes en las estrellas. Los astrónomos profesionales no pueden estudiarlas todas, y aquí el trabajo de los aficionados puede ser muy útil. Arriba, las variaciones de gran amplitud de la famosa variable Mira Ceti.



20' (de grado) — 2' — 10" — 2"

Uno de los objetos celestes más fascinantes para los aficionados son las estrellas dobles. Se trata de estrellas vecinas y unidas por atracción gravitacional. Debido a la gran distancia, la mayor parte aparecen, a simple vista, como estrellas simples; la imagen se desdobla sólo en el campo visual de un instrumento óptico. De izquierda a derecha, la imagen de una pareja de estrellas a simple vista y, con escalas diferentes, la de estrellas dobles observadas con diversos instrumentos ópticos.



La observación de los planetas es una de las mayores satisfacciones para el aficionado a la Astronomía. Existe la dificultad, al principio, de saber reconocer los planetas en el firmamento. En esta búsqueda ayudarán las *Efemérides*, publicadas en muchas versiones. Pero son útiles también las consideraciones siguientes: los movimientos de los planetas podemos precisarlos desde la Tierra sólo en relación a la posición de las estrellas de las constelaciones del Zodiaco (por ejemplo, en el mapa sobre estas líneas se ve el planeta que pasa delante de la constelación del León); además, los planetas se mueven y no forman siempre el mismo dibujo en relación a las estrellas. Los que se ven a simple vista –Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno– son muy luminosos y su luz fija se distingue fácilmente de la parpadeante de las estrellas.





A SIMPLE VISTA **CATALEJO** **TELESCOPIO PEQUEÑO** **TELESCOPIO GRANDE**

Cuatro aspectos de un planeta fácil de observar. A la izquierda, tal como aparece a simple vista, sin la ayuda de instrumentos: es más luminoso que cualquier otra estrella y su luz es de color blanco-marfil. Un catalejo muestra ya los cuatro satélites Mediceos descubiertos por Galileo. No todas las noches son visibles, porque a veces se esconden detrás del planeta o pasan delante de él. Estos fenómenos se observan mucho mejor con un pequeño telescopio, con el cual pueden distinguirse también las "nubes" en torno al ecuador del planeta. Un gran telescopio profesional muestra todavía mejor esos detalles, pero a veces los telescopios más potentes de aficionados consiguen casi igualar la visión de instrumentos mayores, sobre todo si estos últimos telescopios son de tipo óptico.

La luz de un cometa es débil y difusa; no se puede ver si no es de noche, o en la media luz del crepúsculo o del amanecer. El mejor modo de observar un cometa es a simple vista; un catalejo puede ser útil, pero no mejora mucho el resultado. La fotografía contra un cielo perfectamente oscuro hace resaltar la cola con elevado contraste, incluso en color.



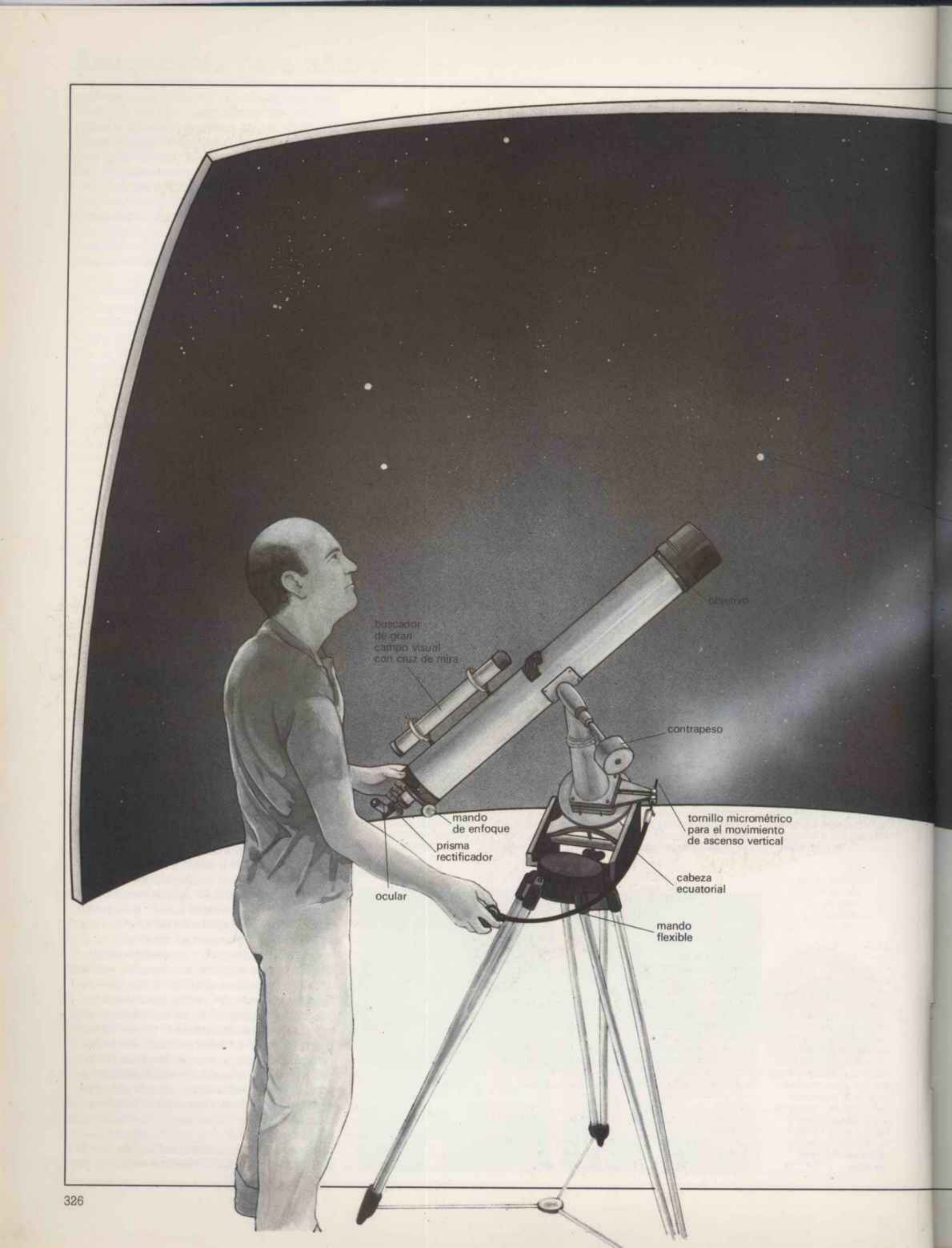

constelación de la Osa Menor, se conoce también como *alfa Ursae Minoris*. La Osa Menor tiene una forma muy similar a la de la Osa Mayor. Incluso un principiante es capaz de encontrarla sin dificultad. Basta "trazar" una línea recta imaginaria que una las dos estrellas que representan las dos ruedas más extensas del Gran Carro y prolongarla un poco hasta alcanzar la parte superior del Pequeño Carro (u Osa Menor) en correspondencia de una estrella brillante. Esta es la Estrella Polar, la estrella de cola del timón del Pequeño Carro.

Los libros para aficionados también recogen los *mapas astrales*. Estos pueden ser generales, en los cuales se representan todas las estrellas visibles desde una cierta latitud del hemisferio septentrional o del meridional, con la indicación del *acimut* y de la *declinación*, o pueden ser mapas detallados de una pequeña región del cielo, por ejemplo la que comprende una constelación. Con algo de práctica, se adquiere pronto familiaridad con algunos "puntos de referencia" fundamentales, verdaderas "señales del cielo" que serán de gran importancia en las exploraciones astronómicas, al igual que algunos accidentes orográficos o cursos de agua señalados en los mapas topográficos ayudan a los exploradores y viajeros a localizar lo que buscan. También hay que familiarizarse con cierto número de términos técnicos, como *eclíptica* o *zodiaco*.

Esos libros y revistas de Astronomía, y algunas publicaciones científicas de carácter general, recogen también *mapas del cielo mensuales*. Generalmente estos mapas muestran el cielo tal como aparece en la latitud de Nueva York, Londres, o de alguna otra gran ciudad, a cierta hora de la noche, con indicación de las variaciones que deben tenerse en cuenta, como los movimientos *aparentes* de las constelaciones debidos a la rotación de la Tierra.

Aunque el astrónomo aficionado, en sus primeros pasos, puede aprender mucho a través de observaciones a simple vista, en cuanto adquiera cierta práctica deberá procurarse un buen catalejo o, mejor aún, adquirir o construirse un telescopio. La construcción, aun rústica, de un telescopio es un trabajo que exige gran atención y precisión, pero que no sobrepasa las posibilidades de cualquiera que posea una cierta capacidad manual y un determinado poder adquisitivo.

Incluso un pequeño telescopio permite al astrónomo aficionado efectuar muchas observaciones interesantes. A simple vista, la mayor parte de las aproximadamente tres mil estrellas visibles aparecen como simples puntos luminosos. Con un telescopio sencillo, el número de estrellas visibles aumenta unas cien veces, observándose ya numerosas estrellas dobles. Estrellas variables, cúmulos estelares, nebulosas y galaxias se observan también con el telescopio. Las estrellas variables, como su nombre indica, son estrellas cuya luminosidad cambia en intervalos de tiempo que van desde diez minutos a cientos de años. Algunas de


objetivo
buscador
de gran
campo visual
con cruz de mira
contrapeso
mando
de enfoque
tornillo micrométrico
para el movimiento
de ascenso vertical
prisma
rectificador
cabeza
ecuatorial
ocular
mando
flexible



El cielo ofrece una gran variedad de astros al aficionado. El instrumento ideal para la observación debería ser el llamado "instrumento universal", es decir, un instrumento apto para disponer en el ocular de campos muy amplios con bajos aumentos, y de campos reducidos con fuertes aumentos: estos últimos deberían ofrecer también una alta resolución. Desgraciadamente ello no es posible más que para unos pocos y costosos instrumentos. Sin embargo, un instrumento de refracción, como el de la ilustración o, mejor aún, uno catodióptrico, es decir, con lentes y espejos, ofrece la posibilidad de observar astros de muy diverso tipo. Los cuerpos celestes más fáciles para la observación no profesional son, en el cielo nocturno, las estrellas dobles y los planetas, para quien disponga de instrumentos con alta resolución y gran aumento. A la categoría apta para ser observados mediante instrumentos de alta luminosidad y bajo aumento pertenecen muchísimos cúmulos globulares y abiertos, la Vía Láctea, las nebulosas gaseosas, las nebulosas planetarias y algunas galaxias. No es aconsejable buscar estos astros enfocando el telescopio a donde sea; es mejor hacer uso de un buen atlas astronómico que indique su posición.

estas fluctuaciones son debidas al eclipsamiento de la luz de una estrella por una "compañera invisible" o a las pulsaciones cíclicas de la "atmósfera" estelar, y son muy regulares; otras estrellas muestran explosiones violentas e imprevisibles. Y como los grandes telescopios de los principales observatorios del mundo se utilizan normalmente en programas de investigación muy complejos, los astrónomos aficionados pueden dedicarse, casi sin competidores profesionales, a la investigación de las estrellas variables. Y es que una vez que ha aprendido a orientarse en el Universo y que dispone de cierto equipo, el astrónomo aficionado puede intentar convertir su *hobby* en algo útil para la ciencia. Para ello, lo mejor es formar parte de organizaciones que patrocinan programas de observación realizados por sus miembros, que en muchos casos disponen de publicaciones propias.

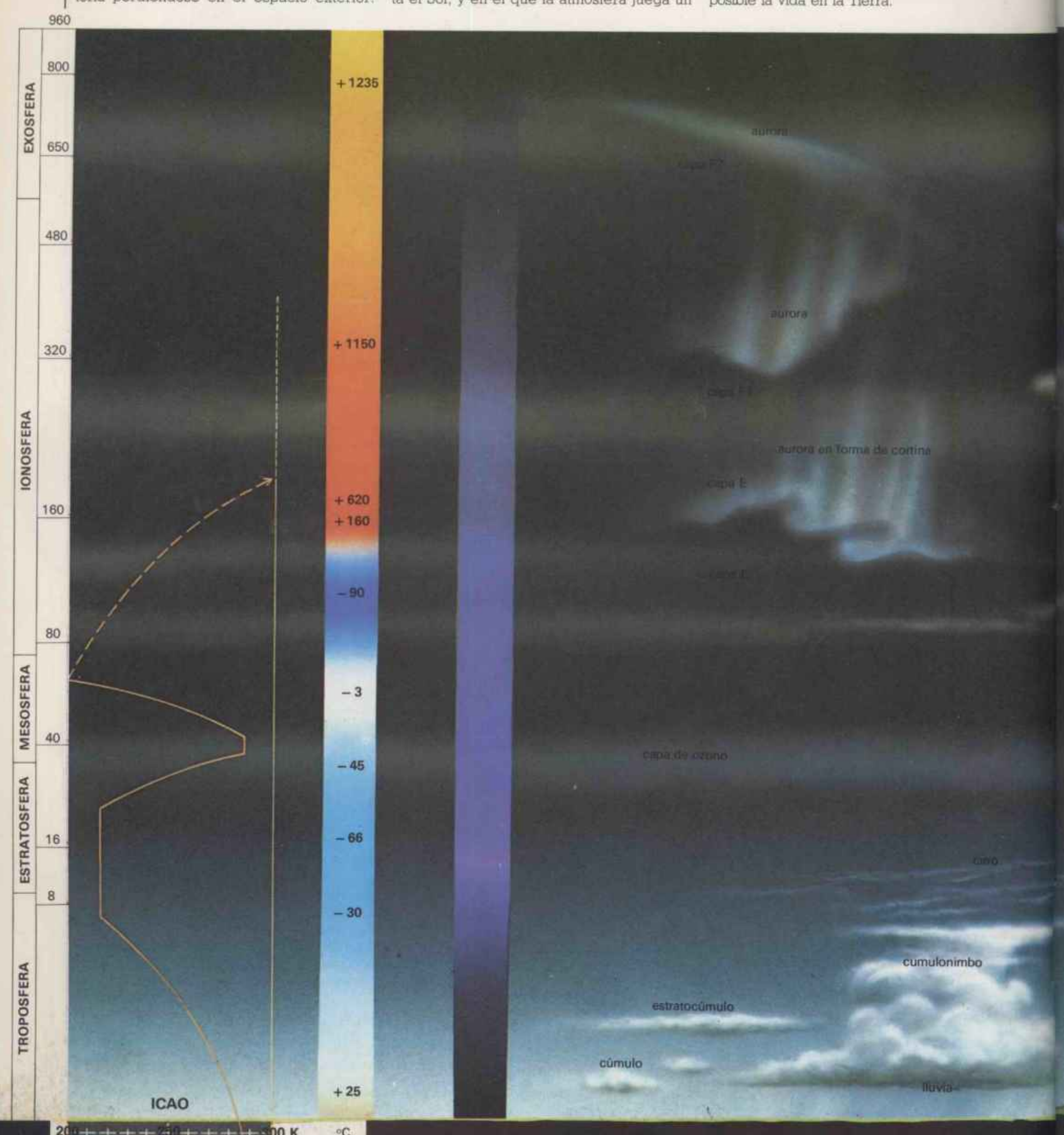
Véase **Asteroide; Astrofísica; Astronomía; Constelaciones; Galaxia; Telescopio para aficionados**

Atmósfera

Se denomina *atmósfera* al conjunto de gases que, atrapados por la acción del campo gravitatorio, envuelve a un planeta. Su espesor es muy pequeño comparado con el cuerpo al que rodea, y la concentración de los gases que la forman disminuye rápidamente a medida que nos alejamos de la superficie; en las capas superiores las moléculas escapan de la atracción gravitatoria perdiéndose en el espacio exterior.

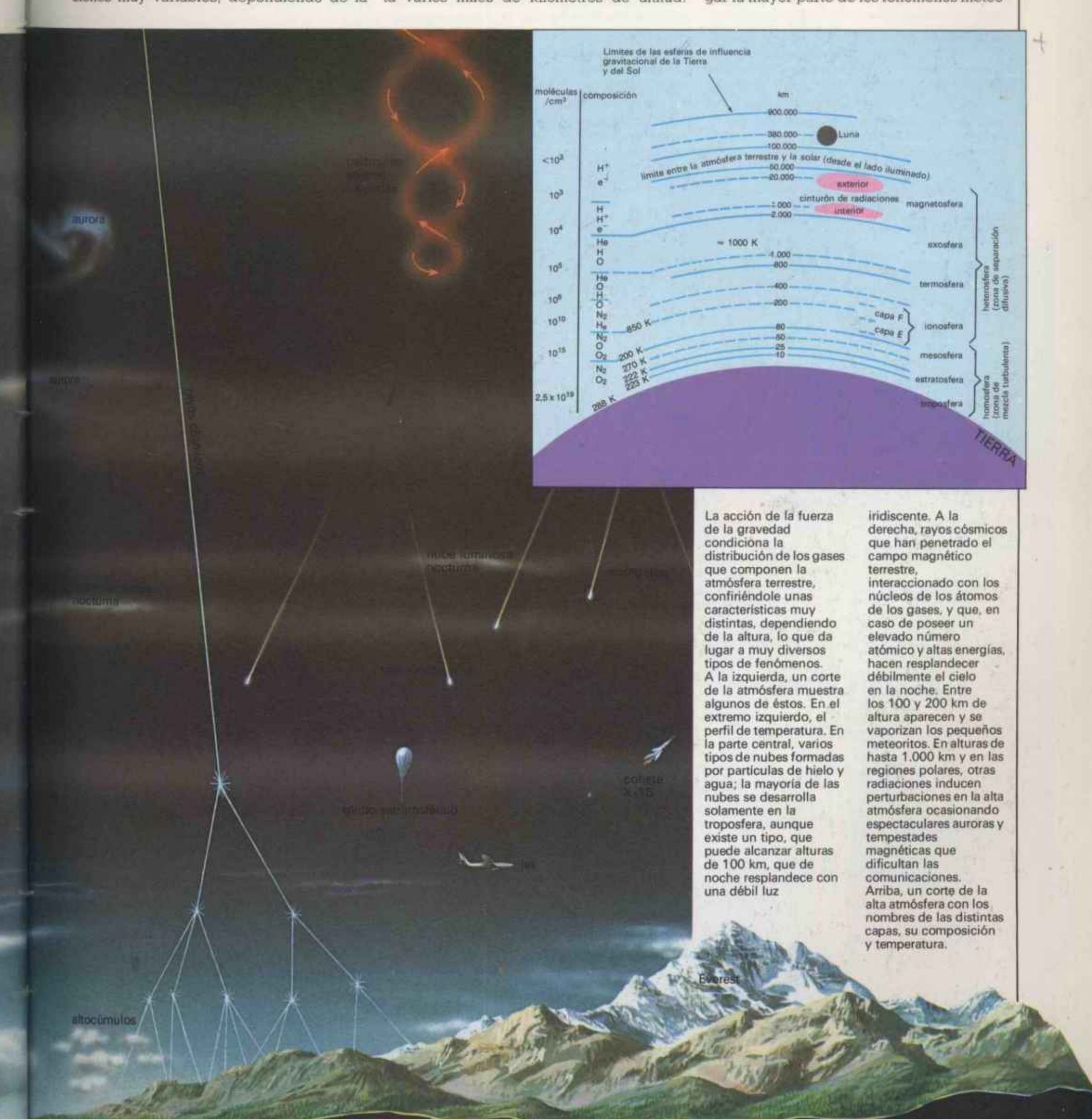
No todos los planetas tienen atmósfera: los más pequeños no ejercen suficiente atracción sobre las moléculas de gas, y éstas han ido escapando lentamente.

La atmósfera como motor de la vida En la Tierra el aire está en continuo movimiento como resultado de un complejo sistema de redistribución del calor que aporta el Sol, y en el que la atmósfera juega un importante papel impidiendo fuertes variaciones de la temperatura entre el día y la noche, compensando las diferencias de temperatura entre el ecuador y los polos, filtrando radiaciones perjudiciales para la vida, haciendo de escudo contra los meteoritos y permitiendo la formación de nubes y sus desplazamientos a zonas lejanas. Por todo ello, la atmósfera, cuyo espesor supera los 2.000 kilómetros, hace posible la vida en la Tierra.



Composición El aire de las capas bajas de la atmósfera está formado por una mezcla uniforme de nitrógeno (78,1%), oxígeno (20,9%), argón (0,9%), dióxido de carbono (0,03%) y cantidades muy pequeñas de monóxido de carbono, hidrógeno, metano, monóxido de nitrógeno y gases nobles, a los que hay que añadir el vapor de agua y el ozono, que se encuentran en proporciones muy variables, dependiendo de la localización geográfica, condiciones meteorológicas, etc. Aunque la densidad del aire disminuye rápidamente con la altura, esos porcentajes se mantienen prácticamente constantes hasta los 80 kilómetros. Por encima de esta altura, las moléculas más pesadas tienden a quedarse en las regiones bajas, mientras que las ligeras —como el hidrógeno— pueden extenderse hasta varios miles de kilómetros de altitud.

Estructura vertical La atmósfera se puede dividir en muy diversas capas según se consideren sus propiedades físicas o químicas. La zona de mezcla homogénea que ocupa los primeros 80 km se divide, desde un punto de vista térmico, en varias regiones. La *troposfera* se extiende desde la superficie hasta una altura media de 12 km; en esta delgada capa de aire tiene lugar la mayor parte de los fenómenos meteo-

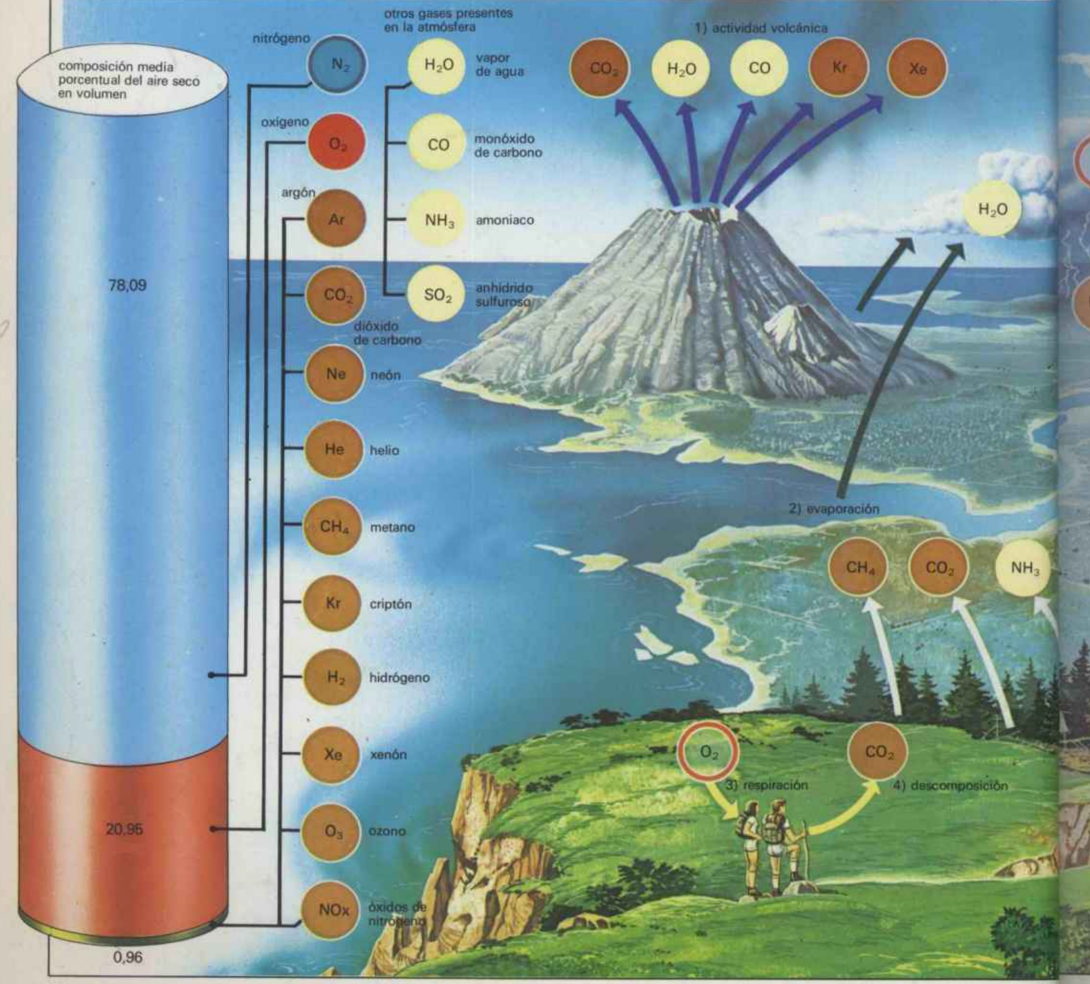


La acción de la fuerza de la gravedad condiciona la distribución de los gases que componen la atmósfera terrestre, confiriéndole unas características muy distintas, dependiendo de la altura, lo que da lugar a muy diversos tipos de fenómenos. A la izquierda, un corte de la atmósfera muestra algunos de éstos. En el extremo izquierdo, el perfil de temperatura. En la parte central, varios tipos de nubes formadas por partículas de hielo y agua; la mayoría de las nubes se desarrolla solamente en la troposfera, aunque existe un tipo, que puede alcanzar alturas de 100 km, que de noche resplandece con una débil luz iridiscente. A la derecha, rayos cósmicos que han penetrado el campo magnético terrestre, interaccionado con los núcleos de los átomos de los gases, y que, en caso de poseer un elevado número atómico y altas energías, hacen resplandecer débilmente el cielo en la noche. Entre los 100 y 200 km de altura aparecen y se vaporizan los pequeños meteoritos. En alturas de hasta 1.000 km y en las regiones polares, otras radiaciones inducen perturbaciones en la alta atmósfera ocasionando espectaculares auroras y tempestades magnéticas que dificultan las comunicaciones. Arriba, un corte de la alta atmósfera con los nombres de las distintas capas, su composición y temperatura.

rológicos. La región inmediatamente superior se extiende hasta aproximadamente 50 km de altura y recibe el nombre de *estratosfera*; en ella la temperatura aumenta con la altura, impidiendo los movimientos verticales del aire que tanta importancia tienen en la troposfera, especialmente para la formación de nubes, que quedan así confinadas en la región inferior. El aumento de temperatura con la altura es consecuencia de la captación de energía en forma de radiación solar ultravioleta por las moléculas de ozono (O_3) existentes a esas alturas. Por ello esta región es también conocida con el nombre de *ozonosfera*. Su importancia para la vida en el planeta es fundamental, ya que filtra una radiación que, de llegar a la superficie, produciría graves perturbaciones en el crecimiento de los seres vivos y un aumento de la temperatura media y, como consecuencia, desertizaciones y fusión de los casquetes polares. En la *mesosfera*, la temperatura vuelve a disminuir hasta un límite superior de 80 kilómetros.

Por encima se encuentra la *termosfera*, llamada así por el rápido aumento de la temperatura (puede alcanzar 2.500 °C) con la altura y con bruscas fluctuaciones entre el día y la noche. Su límite superior se confunde con la *exosfera*, última región atmósferica, formada casi exclusivamente por átomos de helio e hidrógeno.

La atmósfera, desde un punto de vista eléctrico, se considera formada en primer lugar por la *ionosfera*, sin un límite inferior claramente definido, que se caracteriza por la permanencia en libertad de los electrones producidos por la alta ionización causada por la radiación solar; la existencia a gran altura de capas fuertemente ionizadas fue predicha en 1902 para explicar la propagación de ondas de radio entre dos puntos salvando la curvatura de la Tierra; posteriormente, han sido identificadas cuatro capas —conocidas como D, E, F1, F2— de alta concentración electrónica. Por encima de esta región, y extendiéndose hasta alturas de decenas de veces el radio de la Tierra, se encuentra la *magnetosfera*, compuesta por materia ionizada (plasma), cuyos movimientos están gobernados por el campo magnético terrestre. En ella se encuentran los *cinturones de van Allen* que, a modo de anillos, rodean la Tierra en un plano

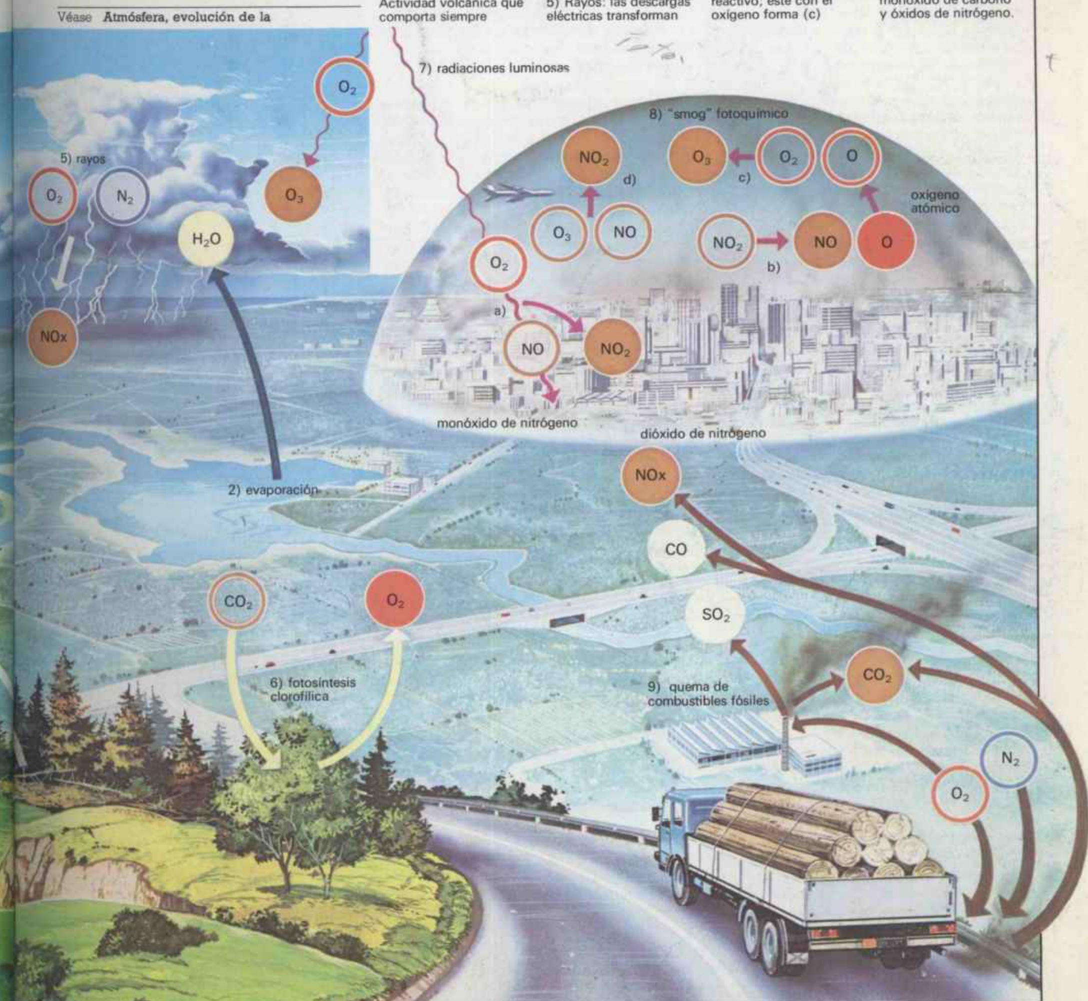


ecuatorial, conteniendo protones de alta energía y atrapando partículas cargadas procedentes del espacio exterior.

La investigación atmosférica Profundizar en el conocimiento de las características, composición, y evolución de cada una de las regiones mencionadas reportará beneficios para la predicción de fenómenos meteorológicos y su incidencia en la producción agrícola y ganadera, elevará el nivel de seguridad en la navegación marítima y aérea, y actuará de sistema de alerta para detectar las perturbaciones que el hombre, en su acelerada carrera industrial, esta produciendo sobre la atmósfera.

Véase **Atmósfera, evolución de la**

A la izquierda, composición media del aire seco; además del nitrógeno y del oxígeno, el aire contiene muchos otros componentes menores (aquí se indican los principales) que juntos no alcanzan el 1%. En el paisaje de la ilustración están reunidos varios importantes fenómenos que provocan un continuo intercambio de gases en la atmósfera. Los círculos con bordes coloreados indican gases que desaparecen en la correspondiente transformación. 1) Actividad volcánica que comporta siempre emisión de gases, entre ellos anhídrido carbónico, vapor de agua, monóxido de carbono, criptón y xenón. 2) Evaporación: el agua líquida se transforma en vapor de agua por calentamiento solar. 3) Respiración: se aspira oxígeno y se emite dióxido de carbono (además de vapor de agua, no indicado). 4) Descomposición: en este proceso se liberan de la materia vegetal gases tales como metano, anhídrido carbónico y amoniaco. 5) Rayos: las descargas eléctricas transforman el nitrógeno y el oxígeno en óxido de nitrógeno. 6) Fotosíntesis clorofílica: las palantas absorben dióxido de carbono y emiten oxígeno. 7) Radiaciones solares: provocan la transformación del oxígeno en ozono. 8) El monóxido de nitrógeno, presente en los gases de escape de los vehículos de motor, se combina (a) con el oxígeno, formando el dióxido de nitrógeno, que se descompone nuevamente (b) en monóxido de nitrógeno y oxígeno atómico muy reactivo; éste con el oxígeno forma (c) ozono, que reacciona (d) con monóxido de nitrógeno, formando dióxido de nitrógeno; volviendo, de esta manera, a comenzar el ciclo. 9) Quema de combustibles fósiles: en los procesos industriales se queman fuel-oil y carbón, que normalmente contienen azufre, por lo que además de anhídrido carbónico y vapor de agua (no indicado) se emite anhídrido sulfuroso; los gases de escape de los vehículos de gasolina y de gasóleo contienen además monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.



Atmósfera, evolución de la

Para encontrar los orígenes de la atmósfera terrestre hay que retroceder hasta las primeras etapas de la formación de nuestro planeta. Para esta labor contamos con la ayuda de los únicos testigos de aquellos tiempos: las rocas y los fósiles de los primeros organismos vivos.

Hace más de 4.700 millones de años, en una pequeña porción del Universo, torbellinos de gas y polvo interestelar se condensaron formando una estrella, que conocemos como Sol, y un cierto número de planetas, entre ellos la Tierra. Los materiales que originalmente contribuyeron a la formación del Sistema Solar no se diferenciaban de los elementos químicos existentes en el resto del Cosmos, manteniéndose la proporción de átomos de hidrógeno (90%) y helio (9%), junto con pequeñas cantidades del resto de los elementos.

Durante el proceso de formación de la Tierra, las fuerzas de atracción fueron confinando los elementos más pesados en el centro, donde, sometidos a tremendas presiones, dieron lugar a un núcleo incandescente; a su alrededor, un conglomerado de materia sólida colapsándose lentamente hacia el núcleo atrapaba grandes cantidades de gases, que quedaban embolsados en su interior a modo de un gigantesco "queso Gruyère". Estos gases estaban principalmente formados por átomos inertes de helio, argón y neón, y por compuestos de hidrógeno (vapor de agua, amoníaco, metano y ácido sulfhídrico).

La atmósfera emerge de las entrañas de la Tierra En una etapa posterior, los gases ocluidos, sometidos a elevadas temperaturas y presiones, se vieron expulsados hacia el exterior, provocando violentos terremotos y favoreciendo continuas erupciones volcánicas. Los gases más pesados envolvieron a la joven Tierra, formando lo que hoy conocemos como atmósfera; por el contrario, los gases más ligeros: hidrógeno, helio y neón, favorecidos por las altas temperaturas superficiales, vencían la fuerza de atracción del planeta y escapaban definitivamente al espacio exterior (se estima que sólo 1 de cada 50.000 millones de átomos de neón quedó atrapado en el campo gravitatorio). Esta primera atmósfera, surgida del interior de la Tierra y constituida por vapor de agua, amoníaco, metano, ácido sulfhídrico, nitrógeno y argón, difería notablemente de la que hoy respiramos.

Con el paso el tiempo la superficie del planeta —que alcanzaba temperaturas cercanas a los 1.500 ºC— se fue enfriando hasta situarse por debajo del punto de ebullición del agua (100 ºC); en esta fase de la evolución, el vapor de agua existente en la atmósfera comenzó a condensarse formando los mares y océanos; a su vez, la radiación que atravesaba la atmósfera descomponía la molécula de agua, liberando hidrógeno que escapaba al espacio y oxígeno que se consumía rápidamente destruyendo el amoníaco y el metano, y dando lugar a una nueva atmósfera formada por vapor de agua, nitrógeno y dióxido de carbono.

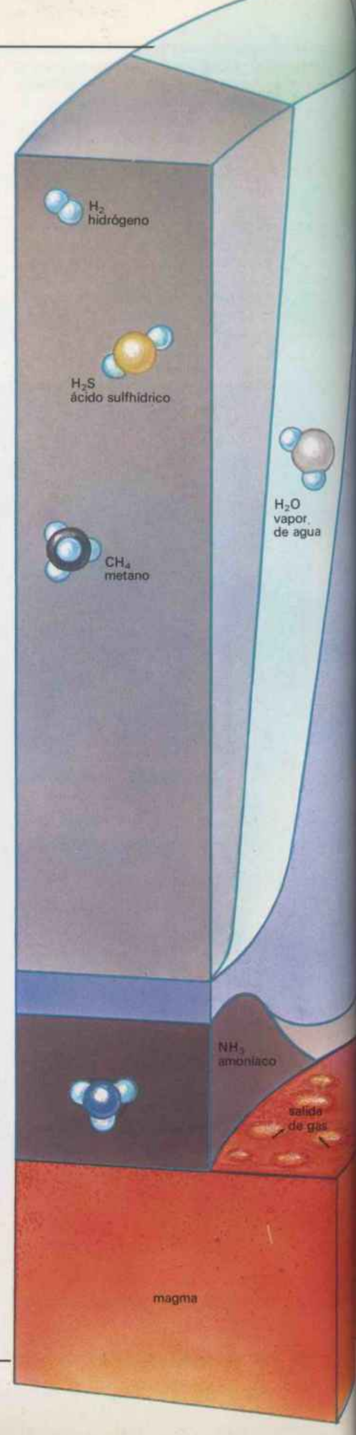
La atmósfera se hace respirable La elevada temperatura de lagunas y océanos y la intensa radiación solar fueron creando un ambiente favorable para el desarrollo de los primeros seres vivos. En esta situación, hace 3.000 millones de años tuvo lugar un importante acontecimiento para el desarrollo de la vida y un nuevo paso hacia la formación de la atmósfera actual: la aparición de los primeros organismos capaces de utilizar la luz solar para producir oxígeno a partir del agua. Estas incipientes formas de la vida eran, sin embargo, de escasa tolerancia al oxígeno y, condenadas a permanecer ocultas de la letal radiación ultravioleta, estaban limitadas a zonas protegidas por una delgada capa de agua o de sedimentos. Pese a estas dificultades, el oxígeno desprendido de los océanos fue acumulándose lentamente en la atmósfera.

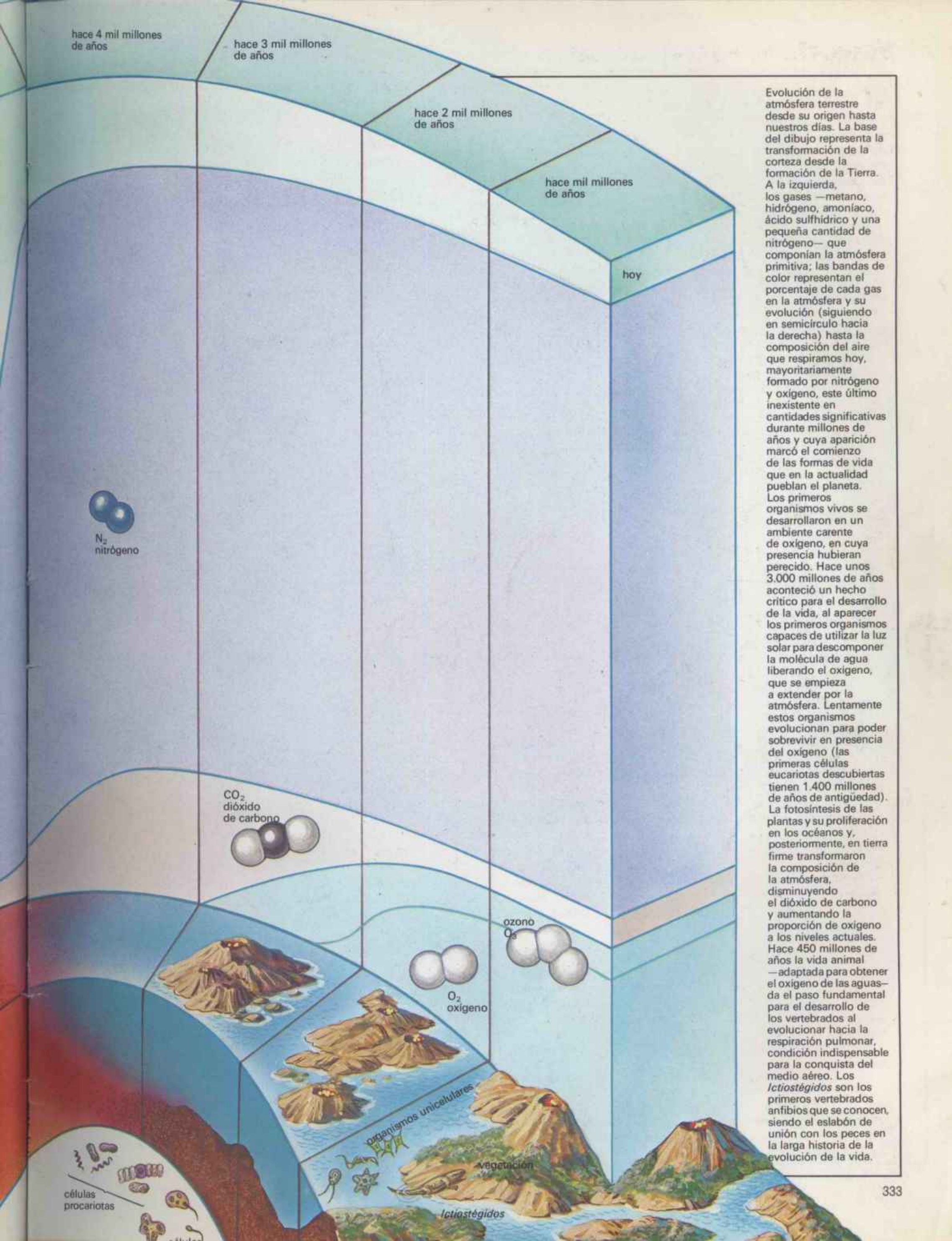
La transición a esta nueva atmósfera planteó un supremo desafío en la historia de la vida; gran parte de los seres vivos, incapaces de enfrentarse con el corrosivo oxígeno, perecieron, e incluso la propia supervivencia de los organismos que lo producían quedó seriamente amenazada. Afortunadamente, durante millones de años los depósitos superficiales de hierro actuaron de sumideros de oxígeno, dando tiempo a que estos organismos desarrollasen defensas efectivas, en forma de enzimas mediadores del oxígeno, para su adaptación al nuevo medio. La aparición de estos enzimas —hace unos 1.800 millones de años— dio lugar a que nuevas poblaciones de organismos resistentes se extendieran de forma progresiva sobre los océanos, aumentanto lentamente el contenido de oxígeno en la atmósfera.

Muchos millones de años después, la concentración de oxígeno, aunque todavía muy pequeña (sólo un 1% de la cantidad actual), llegó a ser suficiente para que apareciera un nuevo gas, el ozono. Esta variedad del oxígeno fue envolviendo el planeta hasta formar una débil capa que actuaba de pantalla efectiva contra la mortífera radiación ultravioleta, lo que permitió la proliferación, sobre la superficie del agua, de las primeras plantas capaces de transformar en oxígeno el dióxido de carbono de su entorno. Con el desarrollo de los organismos fotosintéticos, la vida se extiende sobre la superficie del planeta.

La aparición de las plantas terrestres hace que el oxígeno aumente hasta situarse, hace 300 millones de años, en los niveles actuales (21% del volumen de la atmósfera). No se puede afirmar que estas cantidades se hayan alcanzado con un incremento uniforme y constante.

En la actualidad, el hombre puede influir sobre la atmósfera con una rapidez y eficacia superiores a los procesos naturales. Los agentes contaminantes que la actividad industrial vierte en la atmósfera pueden —si no son controlados— modificar en pocos siglos la composición del aire, planteando un difícil reto para la supervivencia de la especie humana.





Evolución de la atmósfera terrestre desde su origen hasta nuestros días. La base del dibujo representa la transformación de la corteza desde la formación de la Tierra. A la izquierda, los gases —metano, hidrógeno, amoníaco, ácido sulfhídrico y una pequeña cantidad de nitrógeno— que componían la atmósfera primitiva; las bandas de color representan el porcentaje de cada gas en la atmósfera y su evolución (siguiendo en semicírculo hacia la derecha) hasta la composición del aire que respiramos hoy, mayoritariamente formado por nitrógeno y oxígeno, este último inexistente en cantidades significativas durante millones de años y cuya aparición marcó el comienzo de las formas de vida que en la actualidad pueblan el planeta. Los primeros organismos vivos se desarrollaron en un ambiente carente de oxígeno, en cuya presencia hubieran perecido. Hace unos 3.000 millones de años aconteció un hecho crítico para el desarrollo de la vida, al aparecer los primeros organismos capaces de utilizar la luz solar para descomponer la molécula de agua liberando el oxígeno, que se empieza a extender por la atmósfera. Lentamente estos organismos evolucionan para poder sobrevivir en presencia del oxígeno (las primeras células eucariotas descubiertas tienen 1.400 millones de años de antigüedad). La fotosíntesis de las plantas y su proliferación en los océanos y, posteriormente, en tierra firme transformaron la composición de la atmósfera, disminuyendo el dióxido de carbono y aumentando la proporción de oxígeno a los niveles actuales. Hace 450 millones de años la vida animal —adaptada para obtener el oxígeno de las aguas— da el paso fundamental para el desarrollo de los vertebrados al evolucionar hacia la respiración pulmonar, condición indispensable para la conquista del medio aéreo. Los *Ictiostégidos* son los primeros vertebrados anfibios que se conocen, siendo el eslabón de unión con los peces en la larga historia de la evolución de la vida.

Atomo

Una de las primeras preguntas que nos hacemos cuando empezamos a investigar la naturaleza de los objetos que nos rodean es: "¿De qué están hechos?" Actualmente sabemos que la respuesta es, invariablemente: "De un número enorme de partículas muy pequeñas, invisibles hasta con el microscopio más potente, llamadas *átomos*".

Todos los objetos, incluso los más corrientes, se pueden dividir en dos categorías: los que están formados por muchas partes diferentes más o menos mezcladas y los que, en cambio, parecen estar constituidos por una sustancia única. O sea, tenemos los cuerpos heterogéneos y los homogéneos. Pero, ¿hasta qué punto, en una observación cada vez más detallada, sigue un cuerpo homogéneo conservando esta característica? Podemos pensar en romper un cuerpo homogéneo en partes cada vez más pequeñas para ver si éstas también están formadas por partes diferentes. ¿Se podrá seguir dividiendo indefinidamente o se llegará a un punto en el cual las partículas no se podrán dividir más? Esto último opinaba Demócrito de Abdera, un "físico" de la antigua Grecia.

Demócrito afirmó que todos los cuerpos están constituidos por partículas tan pequeñas que son invisibles, infinitamente duras, indivisibles, inmutables, eternas: los átomos. ("Atomo" en griego significa precisamente "indivisible").

Ciento cincuenta años más tarde esta teoría fue elaborada por el filósofo griego Epicuro, y de esa forma ha llegado hasta nosotros, a través del más extraordinario ensayo poético de divulgación científica que jamás haya sido escrito: el *De Rerum Natura* ("La Naturaleza") del poeta latino Lucrecio. Según esta obra, los átomos se encuentran sumergidos en el completo vacío, presente en todas partes y en el cual se mueven, colisionan y se unen para formar todos los objetos, volviéndose a separar cuando estos últimos se deshacen.

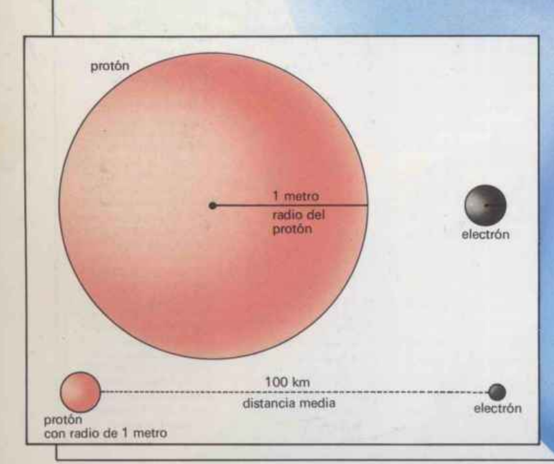
una gota de agua
el átomo de hidrógeno
=
una gota de agua
la masa de agua de los océanos

Cualquier teoría atómica debe poder explicar una propiedad muy importante: ¿cómo permanecen unidos entre sí los átomos al formar los diferentes cuerpos, que pueden llegar a ser muy duros, como por ejemplo el diamante? Según Epicuro, a los distintos tipos de átomos corresponden diferentes posibilidades de unión, por lo que en la Naturaleza se observan cuerpos con propiedades muy diferentes. La posibilidad de dar origen a cuerpos sólidos, por ejemplo, se debe a las características especiales de los átomos que los constituyen, poseedores de ganchos y salientes de manera que pueden permanecer estrechamente unidos entre sí.

La teoría atómica moderna Los átomos de Epicuro y de Demócrito volvieron a cobrar importancia a principios de 1800, con el nacimiento de la Química moderna. Según la intuición de ese extraordinario científico que fue el químico y físico inglés John Dalton, el concepto de *átomo*, entendido como partícula última de la materia, era el único que podía explicar las leyes fundamentales de la Química. Efectivamente: por ejemplo, el átomo es necesario para explicar la ley de las propiedades múltiples, según la cual diversos elementos químicos se combinan en proporciones definidas y diferentes para formar distintos compuestos químicos.

A partir de Dalton los químicos pensaron que existe un número limitado de tipos diferentes de átomos, a cada uno de

El mar está formado por gotas de agua; una gota de agua está compuesta por átomos. Hay tantas gotas de agua en el mar como átomos en una sola gota.
Abajo, el átomo como una esfera en el centro de la cual se encuentra el núcleo, y en la periferia, el electrón. Una representación como ésta es imprecisa porque el núcleo es pequeñísimo, aproximadamente cien mil veces más pequeño que la esfera atómica.







los cuales corresponde un elemento químico distinto: así, existen átomos de hidrógeno, de oxígeno, de carbono, etc. Los átomos se combinan entre ellos para formar moléculas: por ejemplo, dos átomos del elemento hidrógeno, unidos entre sí, forman una molécula de hidrógeno; dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno forman una molécula de agua, etcétera.

También los átomos de los químicos, inmutables e indivisibles como los átomos de Demócrito, son invisibles al ser extraordinariamente pequeños. Pero ¿qué tamaño tienen los átomos? ¿Es posible medirlos? Es posible y es muy sencillo. Se llena un recipiente de gran superficie libre con el agua que llegue hasta casi el borde. Sobre el recipiente se pone, en contacto con la superficie del agua, un hilo que separe en dos partes esa superficie. En una de las dos zonas se deposita una pequeña gota de aceite, del tamaño de la que, por ejemplo, podría caber en un cubito de 1 mm de lado, o sea, 1 mm^3. El aceite se extiende de manera uniforme y tiende a ocupar la mayor superficie posible que nosotros, desplazando el hilo, dejamos a su disposición. Al aumentar la superficie en que se extiende disminuye el espesor de la capa de aceite, hasta reducirse al de una sola molécula. Supongamos que la superficie cubierta de esta manera mida 1 m^2, o sea, un millón de milímetros cuadrados. Naturalmente el volumen de aceite sigue siendo 1 mm^3, luego podemos calcular el espesor de la capa (y de la molécula) dividiendo el volumen por la superficie de la base: 1 mm^3 dividido entre 1.000.000 mm^2 da un valor de 0,000.001 milímetros. Un millón de moléculas de aceite (y una molécula de este tipo está formada por varios átomos) puestas en fila, una detrás de la otra, ¡apenas logran cubrir la distancia de un milímetro! Efectuando una pequeña operación más, se comprueba que en nuestro milímetro cúbico de aceite había un millón de millones de millones de moléculas.

La gran labor de Dalton no consistió solamente en haber resucitado los átomos de Demócrito, sino que hizo mucho más: por primera vez en la historia del átomo el hombre empezó a determinar sus propiedades y a medir sus características. Por ejemplo, ¿cuánto pesa un átomo?

Más importante que determinar el peso en gramos de un átomo aislado es hallar el peso relativo, o sea, el peso de un átomo tomando como unidad de medida el peso de otro: por ejemplo, el del átomo de hidrógeno, que es el más ligero. Esta característica, conocida como *peso atómico*, es una de las más importantes de los átomos.

La determinación del peso atómico del oxígeno, por ejemplo, se puede hacer observando la proporción en peso según la cual se combina con el hidrógeno para formar agua. Para obtener una cierta cantidad de agua es necesaria una cantidad en peso de oxígeno 8 veces mayor que la de hidrógeno. Por lo tanto el peso de un átomo de oxígeno es 8 veces el peso de 2 átomos de hidrógeno, luego el peso atómico del oxígeno es 16, dado que en una molécula de agua hay dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno.

La estructura del átomo Aún en 1885, para explicar el mecanismo por el que permanecen unidos los átomos, el gran físico sueco Robert Rydberg pensaba que sus formas geométricas debían permitirles encajar entre sí más o menos fácilmente y de esta manera producir ciertos compuestos en lugar de otros.

El átomo de oxígeno, por ejemplo, debía tener forma de rosquilla, con agujero; el átomo de hidrógeno, esférica; y los átomos de potasio y sodio, forma de cigarro corto. De esta manera los átomos esféricos del hidrógeno podrían alojarse en el



Estas dos páginas están cubiertas por el dibujo de un átomo: desgraciadamente no tiene sentido dibujar el átomo, porque la mayor parte de su estructura no es visible, no se puede ver y medir en el sentido corriente del término, como se vería un objeto macroscópico, un objeto formado por muchísimos átomos. Por lo tanto este dibujo hay que interpretarlo correctamente. En el centro se ve un grupo de pequeñas bolas de dos colores: representan el núcleo; las grises son los neutrones, y las rojas, los protones. Los primeros no tienen carga eléctrica, los segundos, en cambio, tienen cada uno una carga positiva unitaria. El que estas partículas existan y tengan precisamente las propiedades indicadas no se ha deducido a través de una observación "visual", sino de experimentos de colisión con otras partículas; se trata, por lo tanto, de pruebas bastante indirectas. El núcleo es muy pequeño: aproximadamente cien mil veces más pequeño que la esfera atómica, pero en el dibujo ha sido necesario exagerarlo para poderlo ver y mostrar sus características. El núcleo aparece rodeado de una esfera azul que materializa la superficie sobre la que se mueven los electrones. En este átomo los electrones están colocados sobre dos esferas. En realidad se sabe que el movimiento de los electrones es mucho más complejo.

átomo de magnesio = dos átomos de carbono - 12

átomo de titanio = cuatro átomos de carbono - 12

El átomo de magnesio tiene un radio atómico de 1,60 Å (angström), mientras que el del titanio es de 1,47 Å. La masa del átomo de magnesio es el doble de la del carbono-12 que se ha tomado como unidad de medida, mientras que la del titanio es igual a cuatro veces la misma masa. Esto se explica por la diferente densidad, debida al mayor número de nucleones que posee el átomo de titanio en un espacio prácticamente igual.

agujero de la "rosquilla" del oxígeno por ambos lados y dar lugar a una molécula de agua. Además, dado que el "cigarro"-sodio se inserta en la "rosquilla" mejor que la "esfera"-hidrógeno, a partir del agua y del sodio puede formarse la sosa cáustica (NaOH) al sustituir un átomo de hidrógeno por uno de sodio.

Pero el átomo no puede ser, como imaginaba Demócrito, una estructura sin partes, durísima e inatacable. Ante todo, en el átomo hay electrones, partículas con carga eléctrica negativa y cuyo movimiento representa la forma más común de corriente eléctrica. En condiciones normales, los átomos son eléctricamente neutros y por lo tanto en ellos debe estar presente una carga positiva que compense exactamente la carga negativa conjunta de sus electrones.

A principios de este siglo, el modelo de átomo más interesante y prometedor era el que había ideado el físico inglés J. J. Thomson. El imaginaba el átomo constituido por una esfera relativamente grande

átomos de oxígeno

átomos de berilio

átomos de aluminio

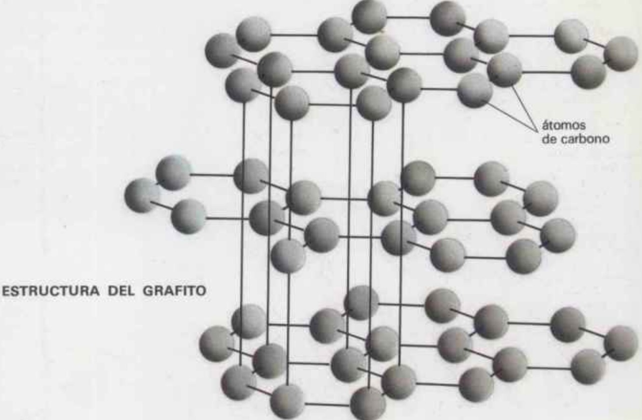
átomos de silicio

ESTRUCTURA DEL BERILIO

de carga positiva, en la cual los electrones se encontraban sumergidos como uvas pasas en un pastel. Thomson acertaba plenamente imaginando el electrón así de pequeño respecto a la masa total del átomo; de hecho, él mismo había medido la masa del electrón, hallando un valor equivalente a una fracción casi insignificante de la masa del átomo más ligero: la masa del electrón vale 1/1.840 de la masa del átomo de hidrógeno. Su modelo, sin embargo, fue un fracaso total: el átomo reveló ser muy diferente de como él lo había imaginado.

Si pensamos que en el interior de un fardo de heno se encuentran infinidad de cuerpos muy pequeños, duros y macizos, podemos comprobar nuestra hipótesis disparando a su interior repetidamente proyectiles de rifle o de pistola. Si los cuerpos del interior son lo bastante duros y macizos, algunos de los proyectiles que choquen con ellos frontalmente pueden rebotar hacia atrás. Si, por el contrario, tales cuerpos no están en el interior, entonces todas las balas atravesarán el heno sin experimentar desviaciones apreciables.

El físico inglés Ernest Rutherford, para descubrir cómo están hechos los átomos, los trató como si fueran fardos de heno: cogió una lámina de aluminio muy fina y disparó contra ella partículas cargadas positivamente y muy pesadas. Estas eran las bien conocidas partículas alfa, constituidas por átomos de helio privados de sus electrones y producidos por materiales radiactivos. El resultado del experimento fue asombroso. La mayor parte de las partículas alfa atravesaban la capa de aluminio, que tenía un espesor de aproximadamente 100.000 átomos, sin ser absorbidas de forma apreciable, clara señal de que la casi totalidad del volumen atómico estaba constituida por espacio vacío. Sin embargo, algunos proyectiles experimentaban desviaciones enormes y algunos rebotaban incluso hacia atrás, con un comportamiento incompatible con el modelo de Thomson: en él los únicos cuerpos macizos deberían haber sido los electrones, y éstos tienen menos probabilidades de hacer rebotar una partícula alfa que las que tiene un cochecito de niño frente a un tren en plena carrera. En la representación de Rutherford (aún útil en muchos aspectos), casi la totalidad de la masa del átomo está concentrada en su núcleo y el átomo mismo se parece mucho a un sistema solar en miniatura; alrededor del núcleo central, muy pequeño y con carga positiva, giran los electrones, siguiendo órbitas circulares a distancias relativamente enormes del núcleo. Para tener una idea de cuánto "vacío" hay en un átomo es suficiente pensar que si se aumentase la órbita de un electrón atómico hasta hacerla tan grande como el circuito de un estadio de fútbol, en proporción, el tamaño del núcleo no sería mayor que la cabeza de un alfiler.



ESTRUCTURA DEL GRAFITO

El parecido con el sistema solar se hace mayor si se piensa que, al igual que en el Sol se concentra el 99,87% de la masa del sistema solar, en el núcleo se concentra el 99,97% de la masa atómica.

Las propiedades químicas de los ele-

mentos dependen del número de electrones que orbita alrededor del núcleo; este número es igual al de cargas positivas, núcleos de hidrógeno o protones, contenidas en el interior del núcleo. Es también el número de orden en la tabla periódica de los elementos y se le da el nombre de *número atómico A*.

Además de protones, en el núcleo atómico hay unas partículas neutras, llamadas *neutrones*, de masa prácticamente igual a la de los protones. El número de neutrones presente en núcleos de átomos de un mismo elemento puede ser diferente: átomos con igual número de protones, pero con número distinto de neutrones, son llamados *isótopos*. Todos los isótopos de un mismo elemento tienen las mismas propiedades químicas, propiedades que dependen sólo de la distribución de los electrones periféricos, pero pueden tener propiedades físicas incluso muy diferentes. El número total de nucleones, o sea, protones y neutrones, de un átomo se conoce como *número de masa Z* del átomo. Para diferenciar isótopos distintos se escribe a veces el número de masa en la parte superior izquierda del símbolo del elemento. El uranio U, por ejemplo, tiene tres isótopos: ^{235}U, ^{237}U y ^{238}U. Los elementos, en su estado natural, son una mezcla de sus diversos isótopos en proporciones diferentes: esto explica por qué los pesos atómicos de los elementos, en lugar de ser números enteros o quedar muy cerca de ellos (dado que las masas de los electrones son despreciables y las de los núcleos son múltiplos enteros de la masa del átomo de hidrógeno), se alejan notablemente de dichos valores. Actualmente, los pesos atómicos se expresan en unidades de masa atómica, que ya no se basan en la masa de un átomo de hidrógeno, sino que equivalen a 1/12 de la masa del isótopo de carbono que tiene como número másico un 12 (^{12}C). De esta manera el peso atómico del hidrógeno ya no es 1, sino 1,00782511.

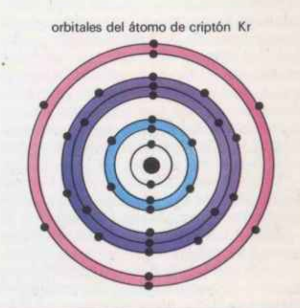
No obstante las analogías aparentes con el sistema solar, el modelo de Rutherford no puede funcionar. Sólo podría existir durante unas pocas milmillonésimas de segundo, mientras que sabemos que la mayor parte de los átomos del Universo tiene una "edad" de varios miles de millones de años y podría, prácticamente, vivir un tiempo eterno.

Pero, ¿por qué el átomo de Rutherford es tan inestable?

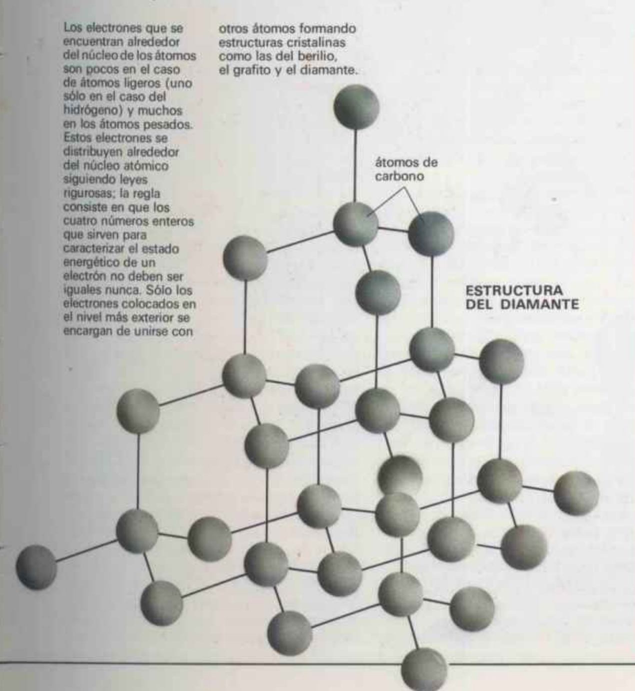
Consideremos el átomo más sencillo, o sea, el átomo de hidrógeno. Está formado por un único protón, que constituye el núcleo, y por un electrón de carga exactamente opuesta, que orbita alrededor. De la misma manera que una carga eléctrica oscilante, en una antena de radio, emite al espacio una gran cantidad de energía electromagnética, el electrón orbitante irradia mucha energía a su alrededor, retardando su movimiento y cayendo hacia el núcleo en la fracción de tiempo antes mencionada.

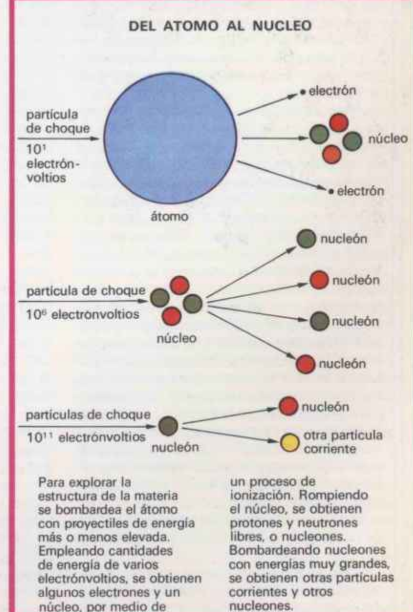
Para superar estas dificultades, el físico danés Niels Bohr perfeccionó el modelo de Rutherford introduciendo en él los conceptos de la nueva Física que tenía como base los principios de la teoría cuántica.

El átomo de Bohr Un satélite artificial que orbite alrededor de la Tierra posee una energía debida a que está en movimiento (es el tipo de energía que tiene un tren en marcha) y otra debida a que está por encima de la superficie de la Tierra (la misma energía que posee una avalancha de nieve antes de caer hacia el valle). También un electrón en órbita posee una energía (energía que se puede atribuir al átomo en su conjunto), diferente según la órbita en la que se encuentre. Entonces, para cada grupo de órbitas electrónicas

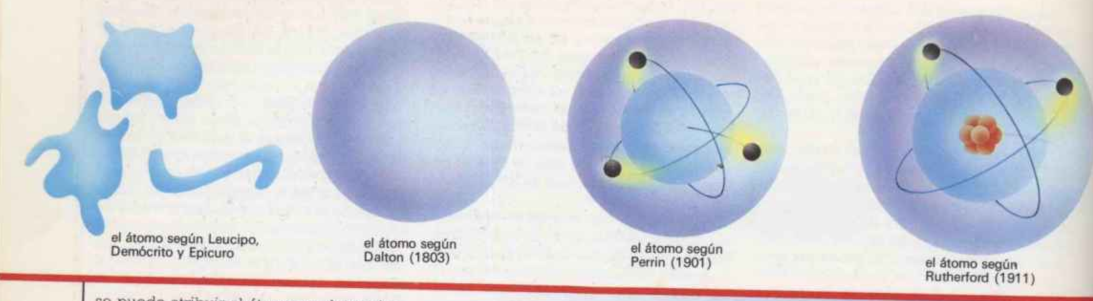

orbitales del átomo de criptón Kr

Los electrones que se encuentran alrededor del núcleo de los átomos son pocos en el caso de átomos ligeros (uno sólo en el caso del hidrógeno) y muchos en los átomos pesados. Estos electrones se distribuyen alrededor del núcleo atómico siguiendo leyes rigurosas; la regla consiste en que los cuatro números enteros que sirven para caracterizar el estado energético de un electrón no deben ser iguales nunca. Sólo los electrones colocados en el nivel más exterior se encargan de unirse con otros átomos formando estructuras cristalinas como las del berilio, el grafito y el diamante.





Para explorar la estructura de la materia se bombardea el átomo con proyectiles de energía más o menos elevada. Empleando cantidades de energía de varios electrónvoltios, se obtienen algunos electrones y un núcleo, por medio de un proceso de ionización. Rompiendo el núcleo, se obtienen protones y neutrones libres, o nucleones. Bombardeando nucleones con energías muy grandes, se obtienen otras partículas corrientes y otros nucleones.



se puede atribuir al átomo un determinado nivel energético.

Para resolver el problema de la estabilidad del átomo, que con el modelo de Rutherford parecía más difícil que la cuadratura del círculo, Bohr propuso un nuevo modelo de átomo, que partía de la base de que a escala atómica deberían valer leyes diferentes de las que experimentan corrientemente los objetos de dimensiones "humanas". En resumen, el modelo de Bohr es el siguiente:

1. Los electrones no pueden recorrer cualquier órbita, sino un número discreto de ellas con energía bien definida.

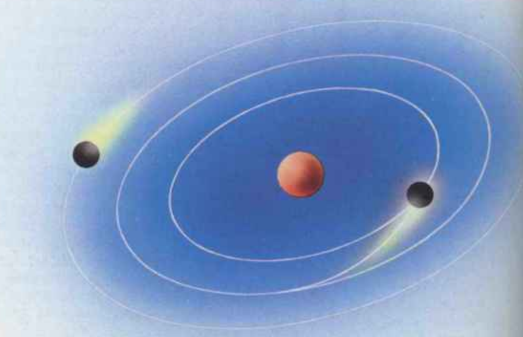
2. En estas órbitas privilegiadas el electrón no irradia.

3. Los electrones pueden "saltar" de una órbita a otra emitiendo o absorbiendo la diferencia de energía entre las dos órbitas en forma de un paquete de energía (o sea, un tren de ondas electromagnéticas, frecuentemente de tipo luminoso, de una longitud de onda bien determinada) cuyo valor depende de la órbita de salida y de la de llegada.

Normalmente los electrones se encuentran en el estado de energía más baja, llamado *estado* o *nivel fundamental*. Si desde el exterior se suministra al electrón exactamente la energía suficiente para pasar a un estado de energía mayor, el electrón efectúa el salto y el átomo pasa a un *nivel energético excitado*. Pero no permanece en estas condiciones indefinidamente: después de un tiempo más o menos breve, el electrón vuelve a la órbita de la que partió y el átomo torna al estado fundamental emitiendo la energía en exceso en forma de un paquete de ondas electromagnéticas (*cuanto* de energía o fotón). El hecho de que el átomo emita por este procedimiento radiaciones electromagnéticas (especialmente luminosas) de una frecuencia completamente determinada está en perfecto acuerdo con el fenómeno de que cada elemento emite radiaciones de longitud de onda constante y característica para cada uno de ellos.

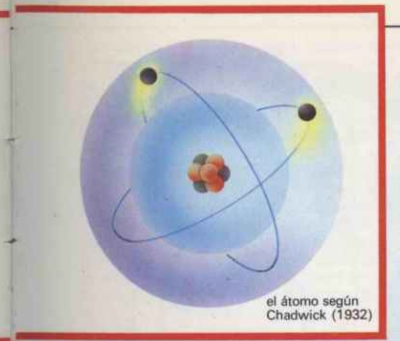
Pero, ¿cuál es el plano general de construcción del "edificio" atómico en el modelo de Bohr?

Ante todo, es necesario indicar que la nueva Física que describe la realidad a nivel atómico también permite representar los electrones como una especie de peonzas microscópicas que giran eternamente sobre un eje: se trata del llamado movimiento *spin* del electrón. Existe además un importante principio que excluye (conocido precisamente como *principio de exclusión*) la posibilidad de que en una misma órbita puedan estar dos electrones totalmente idénticos.



Llegados a este punto, la distribución de los electrones alrededor del núcleo se puede imaginar como la colocación de los inquilinos en un edificio de apartamentos construido de forma especial. En este edificio, cada apartamento puede contener como mucho dos inquilinos, y cuando esto sucede deben tener *spins* opuestos: los inquilinos pueden vivir sólo en determinadas plantas, por encima del nivel del suelo. En nuestro "edificio" —el átomo— hay disponible sólo un "apartamento" en la "planta baja", y está en condiciones de hospedar a un único electrón, o como mucho dos, siempre que tengan el *spin* opuesto. El segundo "piso", en cambio, ha sido proyectado de manera diferente, disponiendo de cuatro "apartamentos", cada uno de los cuales puede alojar dos electrones con *spins* opuestos, dando así un total de ocho "inquilinos" en esta "planta". La tercera "planta" tiene nueve "apartamentos" con un total de 18 posibles "inquilinos", mientras que la cuarta tiene una capacidad de 32 "inquilinos". A cada "piso", que contiene un número diferente de "apartamentos" u órbitas, se le llama *nivel*. El más bajo de los niveles se denomina nivel K; el segundo, L; el tercero, M; etc. Cuanto más lejos del núcleo se encuentre un nivel, mayor es la cantidad de electrones que puede contener.

Cuando un electrón va a ocupar uno de estos "apartamentos", por norma debe instalarse en uno de los "apartamentos" libres de la "planta" más baja. Un átomo de hidrógeno, que tiene número atómico 1, posee un solo electrón que ocupa el nivel inferior, el K. Un átomo de litio (número atómico 3) tiene dos electrones con *spins* opuestos en el nivel K y uno en el L, mientras que un átomo de magnesio (número atómico 12) tiene dos en el nivel K, ocho en el nivel L y dos en el M. Pero a partir del elemento argón (número atómico 18), estas reglas de "cohabitación" empiezan desgraciadamente a no valer. Esto es debido a que los electrones, al tener todos la misma carga, se repelen mutuamente, aun quedándose en órbita alrededor del núcleo. Cuando muchos electrones se encuentran cerca, la repulsión recíproca puede volverse demasiado fuerte, o sea, los "apartamentos" resultan demasiado atestados como para una cohabitación cómoda de todos. Entonces los electrones empiezan a distribuirse como forma de alejarse lo máximo posible entre sí, aunque tratando de quedarse lo más cerca posible del núcleo. De esta manera el "edificio" atómico puede alcanzar una estabi-


el átomo según Chadwick (1932)

Para los filósofos griegos, la materia tenía que estar formada por partículas indivisibles: átomos precisamente. Debía existir una razón por la que éstos se enlazan formando las diferentes sustancias. Se pensaba que los átomos tenían pequeños ganchos por los que se unían. En el siglo XVIII se vuelve a tener en cuenta el concepto de átomo, gracias a los estudios de Química. La materia se imaginaba compuesta por partículas indivisibles: eran, de nuevo, los átomos de los antiguos filósofos, pero se sabía que había que introducir nuevas razones para explicar el fenómeno del enlace entre los átomos; habría que buscarlas en sus estructuras internas. Sin embargo, éstas empezarían a conocerse más tarde: así, sólo a finales del siglo pasado se comprendió que en el átomo existían cargas eléctricas; a primeros de este siglo, que giraban alrededor del núcleo; y sólo a finales de los años veinte la mecánica cuántica fue capaz de explicar el movimiento de los electrones alrededor de los núcleos.

lidad mayor. Luego, a partir del argón, los dos electrones siguientes se alojan en la cuarta "planta", el nivel N, dejando vacíos algunos "apartamentos" en el "piso" inferior. Desde el escandio al cobre (números atómicos 21 y 29 respectivamente) los "inquilinos" ocupan los "apartamentos" menos cómodos que habían quedado libres en el tercer "piso", antes de que se les permita el acceso a otros "apartamentos" de la cuarta "planta". Parecidas violaciones de estas reglas de cohabitación aparecen también en el grupo de elementos comprendidos entre el itrio (número atómico 39) y el paladio (número atómico 46) y desde el lantano (número atómico 57) hasta el último elemento conocido. Con gran disgusto de los científicos, las reglas de cohabitación del "edificio" atómico son en realidad muy complicadas.

La distribución particular de los electrones alrededor del núcleo determina cuáles van a ser los tipos de molécula que un átomo va a formar, las otras especies atómicas con las que se va a combinar y la proporción en la que lo va a hacer. El estudio del comportamiento de los electrones en los niveles atómicos permite, en consecuencia, entender las propiedades químicas de los elementos.

Los orbitales atómicos Para un planeta que gire alrededor del Sol, el término *órbita* tiene un significado muy sencillo: el conocerla implica que podemos determinar en cualquier instante la posición y la velocidad del planeta mismo. Pero en el caso de un electrón las cosas son muy diferentes. Mirar el planeta con un telescopio no interfiere el movimiento del planeta mismo, pero si queremos "ver" un electrón para determinar simultáneamente su velocidad y posición, nos encontramos frente a una imposibilidad básica. Para verlo hay que "iluminarlo", o sea, golpearlo con una partícula de luz, un fotón, de la energía adecuada. Es como si un ciego, para ver si en la calle hay algún obstáculo, ¡disparase cañonazos a su alrededor! Desde luego, puede darse cuenta de si les ha dado, también puede determinar la posición donde ocurrió el impacto, pero no tiene posibilidad alguna de saber qué velocidad tenían los electrones antes de la colisión.

La conclusión es que sólo se puede predecir la *probabilidad* de encontrar un electrón de cierta energía en una determinada zona de espacio alrededor del núcleo. Esta probabilidad se suele representar como una nube más o menos densa en cada punto según la mayor o menor probabilidad. A dicha distribución de probabilidad se la designa con el nombre de *orbital*.

Los niveles energéticos del átomo siguen manteniendo su significado, pero las órbitas de Bohr se sustituyen hoy por estos orbitales con forma esférica, de cigarro, de manillar, o con otras formas extrañas.

orbital P_x — orbital P_y — orbital P_z

Arriba, en el centro de la página, el movimiento de los electrones alrededor del núcleo cuando el átomo intercambia energía con el exterior. En la página anterior, un electrón es empujado a una órbita exterior y absorbe energía del ambiente; en pocas milmillonésimas de segundo el electrón (a la derecha) vuelve a la órbita anterior y libera energía. Sobre estas líneas, las formas que adquiere la órbita más exterior de los electrones en el enlace químico; esa forma determina la colocación de los átomos en las moléculas.

Véase **Enlace químico y valencia; Isótopos; Mecánica cuántica; Núcleo atómico; Peso atómico; Tabla periódica de elementos**

Audición

El ser humano es capaz no sólo de oír e identificar muchos sonidos que se producen al mismo tiempo, sino también de localizar la dirección de donde provienen, de apreciar si la fuente sonora está en movimiento, si los sonidos son fuertes o débiles, si son agudos o graves, etcétera.

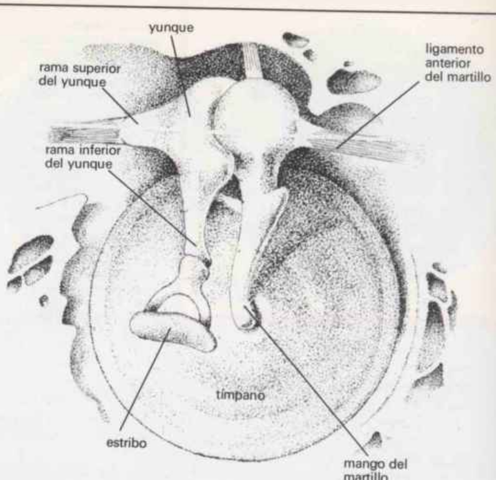
La *audición* (el sentido del oído), esto es, la capacidad de captar las ondas sonoras a través del órgano del oído y de transformarlas en información, es un extraordinario resultado de la evolución, que nos brinda la posibilidad de interactuar con el mundo exterior de modos diversos y complejos.

La estructura del oído El órgano del oído se divide en tres partes principales:

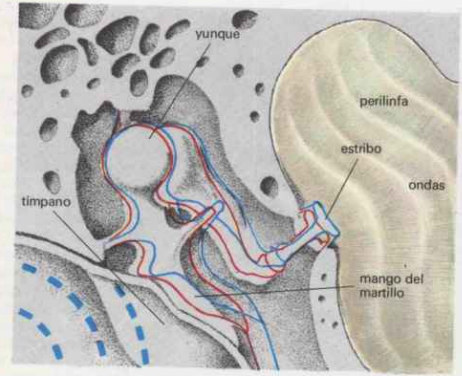
- El *oído externo*, constituido por el pabellón auricular y el conducto auditivo externo, que transmite las vibraciones sonoras a la membrana timpánica, la protege y le permite mantener en todo momento la temperatura y humedad adecuadas.
- El *oído medio*, que es una pequeña cavidad llena de líquido (caja del tímpano) cuya función consiste en transmitir las vibraciones del aire al oído interno, ampliándolas. Está cerrado hacia el exterior por una membrana delgada y semitransparente llamada *membrana del tímpano*, y hacia el interior, mediante una abertura más pequeña llamada *ventana oval*. La membrana del tímpano está adaptada para transmitir las ondas sonoras: la energía sonora que a ella llega es en parte reflejada y en parte absorbida por la membrana, que se pone en movimiento. En el oído medio se aloja también una "cadena" de huesecillos, constituida por tres (*martillo, estribo, yunque*), que convierte las vibraciones de la membrana timpánica en estímulos capaces de producir los movimientos apropiados en el líquido del oído interno. Finalmente, para que las vibraciones se transmitan a éste es preciso que los líquidos laberínticos se muevan, de lo que se encarga la ventana oval mediante la elasticidad de sus membranas. El aire de la caja del tímpano debe ser renovado (misión de la *trompa de Eustaquio*) para equilibrar el aparato oscilante y proteger contra descensos bruscos de presión.
- El *oído interno*, que es una pequeña cavidad llena de líquido, de las dimensiones de un guisante, y aloja en su interior el verdadero órgano de la audición, la *cóclea* o *caracol*, contenido en una estructura ósea. Para que se inicie el proceso de percepción es necesario que las ondas sonoras lleguen a estimular las células sensoriales. El caracol, gracias a la membrana basilar y al órgano de Corti, realiza un análisis fisiológico del sonido y una discriminación de frecuencias.

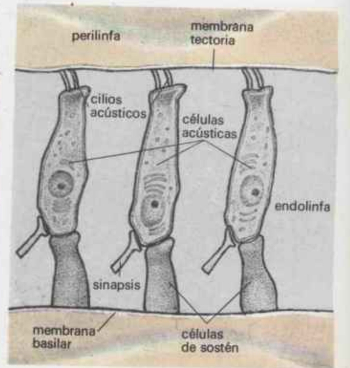
El proceso de percepción Se inicia con los fenómenos eléctricos que se producen en el oído interno durante la estimulación del sonido, los cuales conllevan dos tipos de respuesta. La primera, motivada por el cambio de energía mecánica, es una respuesta inmediata a la estimulación acústica. La segunda, que es de hecho la

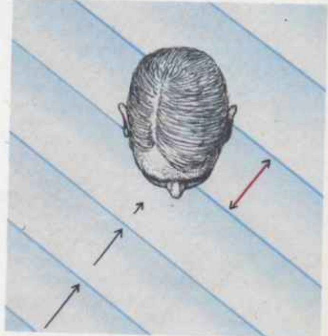
El origen de la sensación auditiva está unido a la actividad de los aparatos de la transmisión y de la percepción de los sonidos, situados en el órgano del oído. El aparato de la transmisión tiene la función de conducir la energía sonora a las estructuras del oído interno en forma tal que sea apta para estimular las terminaciones nerviosas; el pabellón auricular y el conducto auditivo externo llevan a cabo un reforzamiento de la energía sonora. La membrana del tímpano, que cierra en su profundidad el conducto auditivo, vibra con la llegada de las ondas sonoras; las vibraciones de la membrana timpánica se transmiten a la "cadena" de huesecillos: martillo, yunque y estribo.



Las ondas sonoras, recogidas por el pabellón auricular y conducidas a través del conducto auditivo externo, llegan al tímpano (esquema de al lado) y provocan la vibración; la "cadena" de huesecillos, a su vez, traduce las ondas sonoras en un movimiento de tipo "émbolo" del estribo; las ondas producidas originan un movimiento de las membranas tectoria y basilar (esquema central), que excitan las células acústicas; los impulsos nerviosos que derivan de éstas se transmiten a los centros acústicos del cerebro y se transforman en percepción sonora.







Sobre estas líneas, esquema que representa cómo es posible distinguir la dirección de donde proviene un sonido.

La imagen de la página siguiente recoge la reconstrucción tridimensional de un fragmento del caracol membranoso.

que alcanza las células ciliadas, consiste en un potencial de "sumación", que se mantiene mientras dura la estimulación del oído y que crea potenciales de acción medibles por las fibras terminales del nervio acústico, que, a su vez, transmite la información al área auditiva de la corteza cerebral.

Por tanto, el órgano de la audición lleva a cabo una serie de procesos que comprende: la transformación de la energía sonora captada por el pabellón auditivo y por el conducto externo en vibraciones mecánicas, gracias al sistema formado por la membrana timpánica y la cadena de huesecillos del oído medio; la transferencia de tales vibraciones a los líquidos del laberinto y a la membrana basilar del caracol; la excitación de las células ciliadas del órgano de Corti (que constituyen los receptores sensoriales, donde la energía mecánica se transforma en energía nerviosa); la transmisión del impulso nervioso y su primera elaboración a lo largo de las vías y los centros de la vía acústica; y la llegada a las áreas acústicas de la corteza cerebral, donde tiene lugar la identificación definitiva y la interpretación cortical del mensaje sonoro.

Tono, volumen, timbre El cerebro "percibe" en los sonidos tres características: el tono, el volumen y el timbre.

El *tono* de un sonido está determinado por el número de vibraciones por segundo. Las ondas sonoras de diferente tono recorren distancias diferentes a lo largo de los tejidos del caracol, estimulando distintas terminaciones nerviosas.

El oído humano puede percibir sonidos que abarcan desde ruidos graves de 20 vibraciones por segundo hasta notas altas de 20.000 vibraciones por segundo. Hacia los sesenta años de edad las personas pierden gran cantidad de células nerviosas ciliadas, y entonces perciben solamente notas inferiores a 10.000 vibraciones por segundo.

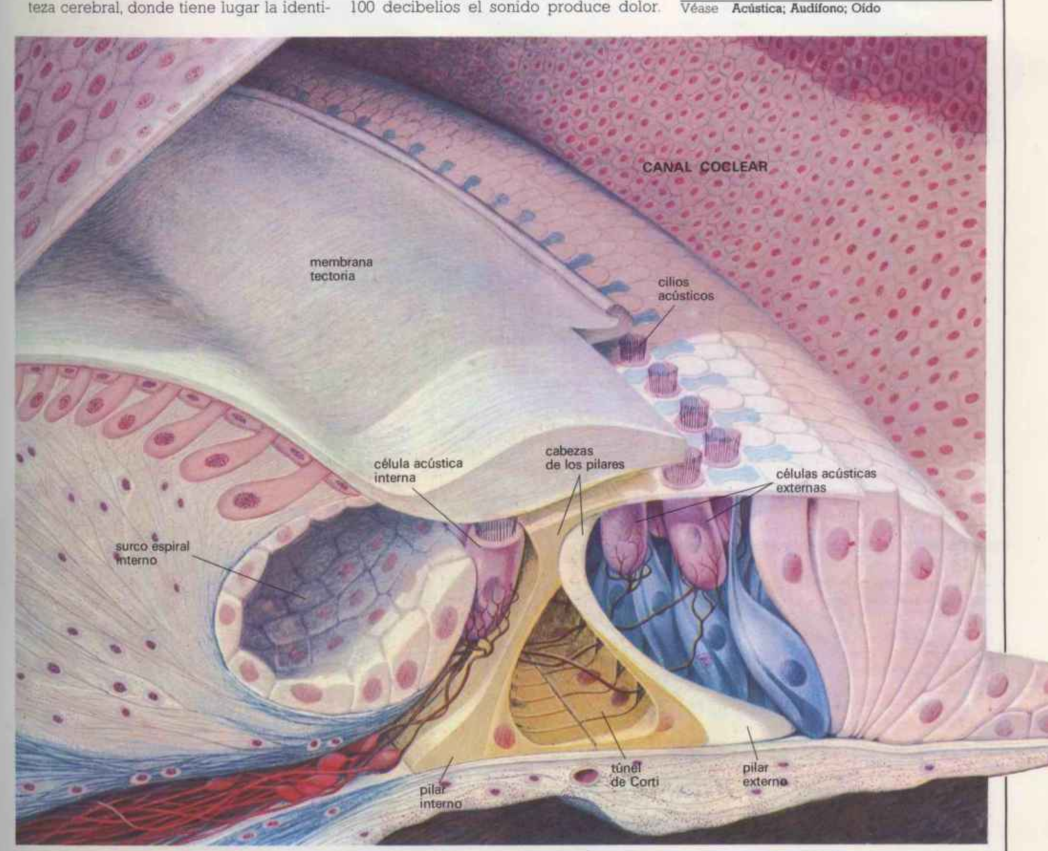
El *volumen* o intensidad sonora se mide en decibelios. La voz cuchicheada viene a tener una intensidad aproximada de 20 decibelios; una conversación normal alcanza los 60 decibelios. Por encima de los 100 decibelios el sonido produce dolor.

Todo sonido posee una cualidad que lo hace diferente de cualquier otro de igual tono y de igual intensidad: el *timbre*, que permite, por ejemplo, reconocer por su voz a quien habla.

Determinar la posición Oír un ruido no es suficiente. En presencia de un peligro, por ejemplo, es preciso detectar con exactitud de qué lugar proviene.

Como quiera que estamos dotados de dos órganos auditivos, transcurre un brevísimo lapso de tiempo entre el momento en que la señal se percibe por un oído y el momento en que se percibe por el otro. El cerebro interpreta ese lapso de tiempo para determinar el origen del sonido. Este es el motivo por el cual frecuentemente volvemos la cabeza hacia un lado para que un oído reciba el sonido antes que el otro; cuando el sonido proviene de un lugar colocado exactamente enfrente o detrás de la cabeza, la señal sonora alcanza los dos oídos al mismo tiempo.

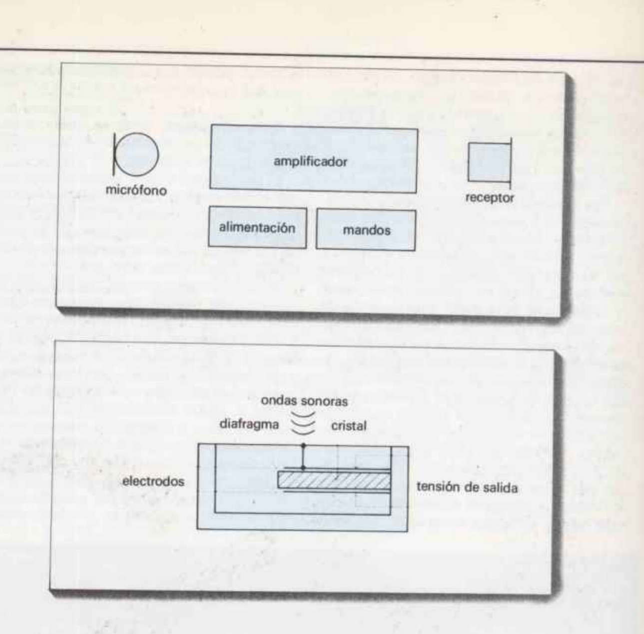
Véase **Acústica; Audífono; Oído**



Audífono

Imaginemos una bailarina de ballet que en un primer momento esté danzando sobre una alfombra sin producir ningún ruido y que llega posteriormente a otra superficie de duro pavimento de madera donde los pasos de su danza comienzan a oírse súbitamente. La única razón por la cual sus pies producen ahora sonidos audibles es que están golpeando una superficie que, en lugar de absorber la energía, como ocurría con la alfombra, la transmite hacia el aire donde se originan compresiones. Estas compresiones son las ondas sonoras, cuya energía puede ser también percibida y transmitida por el tímpano, dando así lugar al proceso auditivo. Esta sensible membrana vibra por el impacto del movimiento del aire y origina una serie de vibraciones en el interior del oído, que se transforman en señales nerviosas dirigidas al cerebro: gracias a estas señales nerviosas somos capaces de percibir los sonidos.

Pérdida del sentido de la audición y amplificadores auriculares Los problemas auditivos neurosensoriales resultan de trastornos o de la ausencia parcial de tejido nervioso en el oído interno, el cual es el responsable de la transmisión de las se-



Los dos diagramas de la parte superior ilustran el esquema en conjunto de una prótesis acústica (audífono) y el esquema de funcionamiento de un micrófono. Como puede verse, el audífono comprende un micrófono para recibir los sonidos, un amplificador (alimentado por una pila), sobre el que actúan los mandos de regulación, y un receptor. Sobre estas líneas, las distintas prestaciones de los micrófonos magnético, cerámico y de condensador eléctrico, ciertamente los mejores respecto a intensidad y linealidad.

Los audífonos han sufrido durante los últimos años un notable desarrollo gracias a la tecnología de la miniaturización electrónica. Arriba, un audífono para aulas escolares que puede captar ondas de radio en frecuencia modulada. A la izquierda, el transmisor y, a la derecha, el receptor, que se une a la prótesis. Cada audífono puede ser regulado individualmente de acuerdo con las necesidades de cada persona e independientemente del volumen de la voz del profesor.

ñales originadas por las vibraciones al centro auditivo del cerebro. Algunas alteraciones neurosensoriales son irreversibles y la persona que las sufre se ve obligada a comunicarse con la mímica y a comprender a sus interlocutores a través del movimiento de los labios. Un tratamiento experimental de la pérdida sensorial del oído se efectúa mediante la instalación de dispositivos a nivel coclear. Se introducen electrodos en el oído interno con la intención de sustituir las células nerviosas que faltan o que se hallan defectuosas, presuponiendo que los electrodos pueden desempeñar la función de transmitir señales al cerebro. De modo similar a los marcapasos utilizados en cardiocirugía, estos instrumentos se encuentran unidos a un dispositivo generador que el paciente puede llevar en cualquier parte del cuerpo. Se ha diseñado un cierto número de aparatos cocleares, pero no ha sido completamente demostrada su validez y, por ello, son objeto de vivos debates en el mundo médico y científico.

Pérdida de la conducción del sonido y amplificadores auriculares Los problemas relativos a la conducción del sonido están originados por alteraciones en la transferencia de las vibraciones a través del oído externo y del oído medio. Estas alteraciones pueden derivarse, por ejemplo, de obstrucciones que bloquean el paso de las vibraciones sonoras. La sordera común de los ancianos, u otoesclerosis, por ejemplo, tiene como causa la formación de un tejido óseo en el oído medio que interrumpe el movimiento oscilatorio de la cadena de huesecillos.

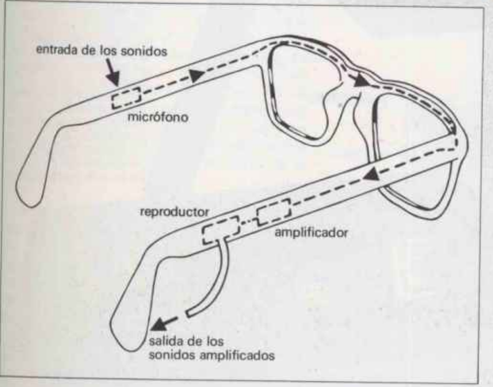
Los problemas auditivos originados por una transmisión inadecuada de las vibraciones se corrigen frecuentemente mediante dispositivos acústicos fácilmente colocables.

El primer aparato acústico se denominó *cornete* o *cornetilla* y había que mantenerlo en la oreja. Este dispositivo semejaba un embudo y funcionaba de modo muy similar. Los sonidos eran recogidos por el extremo abierto del cornete y, en consecuencia, condensados a medida que las ondas sonoras avanzaban hacia el interior de la cavidad del cornete, la cual se estrechaba para finalmente acabar en un pequeño tubo dentro del conducto auditivo. Las ondas condensadas de esta manera son capaces de provocar una vibración suficientemente fuerte contra el tímpano, de modo que éste pueda enviar las vibraciones al oído interno. El principio operativo básico de la cornetilla se encuentra hoy en día en los modernos aparatos acústicos electrónicos. Los tres componentes principales de un aparato acústico electrónico son: un micrófono, un amplificador y un receptor, los cuales están diseñados para funcionar dentro de las frecuencias propias de la voz humana.

Durante los años cincuenta, los grandes e incómodos dispositivos constituidos por gorros y envolturas colocadas sobre la cabeza, y que representaban el primer tipo de aparato acústico electrónico, fueron sustituidos por modelos con transistores. El receptor podía ser unido a la oreja y conectado mediante un ligero hilo a un amplificador y a un micrófono de dimensiones muy reducidas. Los aparatos acústicos actuales, realizados con circuitos integrados, contienen todos los componentes en un pequeño dispositivo aplicable a la oreja inserto en la montura de las gafas.



Un tipo particular de audífono es aquel que puede insertarse en las patillas de las gafas. También en estos casos la transducción puede tener lugar por vía ósea (con estimulación del hueso mastoideo por medio de un vibrador) o bien por vía aérea (mediante un pequeño tubo que, saliendo de la patilla, penetra en el interior del pabellón auditivo donde dirige las ondas sonoras).



A la izquierda, esquema de un audífono de gafas: en una patilla se ha colocado el micrófono; en la otra, el amplificador, reproductor del sonido y sistema de estimulación. El aparato puede funcionar por estimulación directa del hueso o mediante una cánula que penetra en el conducto auditivo externo.





En las dos fotografías, a la derecha y abajo, los dos tipos de audífonos más utilizados: los retroauriculares —más difundidos, en términos absolutos—, que pueden conseguir correcciones de defectos incluso graves; y los audífonos endoauriculares, que se insertan en el conducto auditivo externo y que poseen la ventaja de la miniaturización electrónica. De esta manera, sus características electroacústicas pueden adaptarse a cada paciente, permitiendo corregir los casos graves de sordera.

Véase **Audición; Oído; Transductor**

Audiovisuales, medios

Imaginemos al matemático griego Euclides rodeado de estudiantes en la antigua Alejandría trazando con un bastoncillo en la arena la figura geométrica que está describiendo.

Hoy, en el ámbito de la didáctica moderna, los profesores disponen de numerosos útiles, algunos muy sofisticados, que van desde una pizarra a los terminales vídeo de una computadora. Como el bastoncillo del que se servía Euclides hace veintitrés siglos, estos instrumentos sirven para comunicar, para suministrar informaciones y para captar la atención a través de la vista, el oído o de ambos. Conocidos como *materiales didácticos audiovisuales*, estos instrumentos han sido concebidos para dar forma al modo en que percibimos el mundo en torno a nosotros.

Los medios audiovisuales se emplean en todos los niveles de la educación a fin de conseguir mayor eficacia en la comunicación de ideas. Para ello se dispone de una gran variedad de equipos, que permite nuevas formas de expresión e instrucción.

El más simple de los medios audiovisuales, y aun el más antiguo, es la pizarra y el profesor. Sin embargo, la presentación de la información exige cada vez más eficacia, a causa de las tendencias educativas modernas. La escritura sobre una pizarra hace lento el proceso de aprendizaje y, para obtener un grado eficaz de comunicación, se requiere un mínimo de habilidad por parte del profesor.

El diascopio Es un instrumento sencillo consistente en una caja que contiene una fuente de luz potente y está provista de una superficie transparente, o platina, en la cara superior. Sobre esta superficie se colocan dibujos o modelos semitransparentes, preparados con anterioridad. Otras veces es un rollo continuo de una lámina transparente de acetato de polivinilo lo que se hace pasar de un rodillo a otro a través de un área iluminada. La información se escribe sobre esta hoja continua con un rotulador adecuado. Por medio de un objetivo y un espejo, la imagen de la superficie de la platina se proyecta sobre una pantalla.

Proyectores cinematográficos El proyector más típico es el que se coloca sobre un soporte, proyecta las imágenes en una sala oscura, y lleva incorporado un altavoz. Hay proyectores de reducido tamaño para enseñanza individual o de pequeños grupos. Suelen ser unidades completas, portátiles, que incluso disponen de una pantalla translúcida sobre la cual se proyecta la película por detrás.

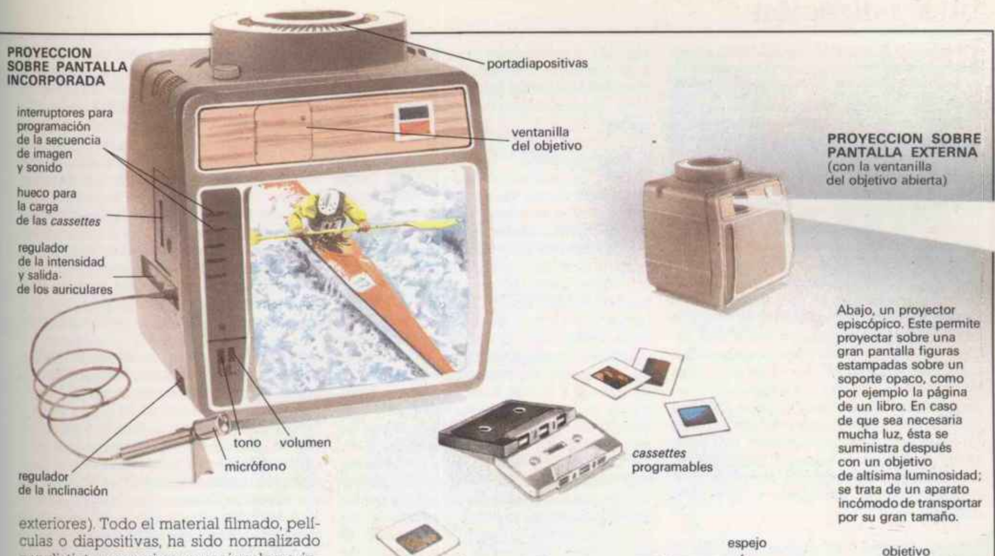
La película para los proyectores cinematográficos de tamaño normal se suministra en carretes o bobinas, pero en los tamaños reducidos se emplean *cassettes*.

Proyector de diapositivas El proyector de diapositivas proyecta, una a una, conjuntos de diapositivas individuales, o *filminas*. Estas son de 35 mm o de 16 mm. Las diapositivas de tamaño 24 × 36 mm suelen ir montadas en un marco de tamaño internacional normalizado (50 × 50 mm



A la derecha, la versión más compacta de un proyector de gran eficacia didáctica: el diascopio. Quien explica puede dibujar en una hoja transparente apoyada sobre una parte plana inferior, y sus trazos, incluso en color, se proyectan a distancia sobre una pantalla blanca.

A la derecha de estas líneas, combinación entre un proyector de diapositivas y un micrófono alimentado por la palabra contenida en *cassettes*. Es posible sincronizar imágenes y sonido, obteniendo así una especie de conferencia o lección automática muy eficaz. La misma persona que ha realizado las diapositivas puede grabar la *cassette*, dando unidad a la imagen y al texto. Algunos aparatos están dotados de un proyector de película continua: en este caso, una ventaja más de un aparato de este tipo es la facilidad de transporte. Además, algunos de estos proyectores de películas tienen la posibilidad de detener la imagen, permitiendo así un examen detenido de los detalles de un solo fotograma.



Abajo, un proyector episcópico. Este permite proyectar sobre una gran pantalla figuras estampadas sobre un soporte opaco, como por ejemplo la página de un libro. En caso de que sea necesaria mucha luz, ésta se suministra después con un objetivo de altísima luminosidad; se trata de un aparato incómodo de transportar por su gran tamaño.

exteriores). Todo el material filmado, películas o diapositivas, ha sido normalizado por distintos organismos nacionales e internacionales.

Es habitual unir material filmado y sonido. Este se registra casi siempre en cinta magnetofónica formada por una cinta estrecha con dos pistas magnéticas separadas. Una de ellas es portadora de los comentarios, música y efectos sonoros, en tanto que la otra tiene grabadas las instrucciones magnéticas que controlan el cambio de imagen. En los modelos más avanzados, el mando de los proyectores se aúna, de forma que la imagen de una diapositiva parece disolverse en la de la siguiente.

Televisión y grabación de vídeo Las técnicas de televisión han significado uno de los adelantos más importantes en los medios audiovisuales. La televisión se emplea en circuito cerrado en las escuelas, universidades, comercios e industrias de los países más avanzados. Es un sistema mucho más localizado que el de la emisión normal de televisión, debido a que la cámara y el receptor (llamado *monitor*) están conectados directamente por un cable. La televisión en circuito cerrado tiene, respecto a la película, la ventaja de que puede verse instantáneamente, esto es, no requiere un proceso de revelado de las imágenes.

Es frecuente conectar la televisión en circuito cerrado con la grabación de vídeo para registrar en una cita magnética las imágenes captadas por la cámara, de la misma forma que lo es el sonido en un magnetófono. En emisiones profesionales se emplea cinta de 50 mm de ancho, pero con fines educativos es más frecuente utilizar cinta de 25 ó 12,5 mm, aunque proporciona imágenes de peor calidad.

La combinación de televisión en circuito cerrado y grabador de vídeo ha demostrado ser un medio audiovisual muy útil (por ejemplo, en exposiciones y conferencias la cámara puede mostrar experimentos o acontecimientos que de otra forma sólo hubieran podido contemplar unas pocas personas).

En la actualidad es frecuente que muchos países presenten programas educacionales transmitidos por radio y televisión como parte de sus horarios de clase. Este sistema introduce en las aulas un amplio campo de fuentes audiovisuales de información.

El uso de *videocassettes* se extiende cada vez más. Mediante *cassettes* del tamaño de un libro, con cinta magnética de 12,5 ó 18 mm de anchura, se puede conseguir una hora de audiovisión. La grabación se hace con un aparato casi tan sencillo como un grabador de cinta normal, y la unidad reproductora utiliza la *cassette* sobre un aparato estándar de televisión.

Estas *cassettes* tienen también gran aplicación en la industria, en particular como medio de venta (catálogo automatizado).

Véase **Magnetófono; Proyector**

Automatización

Escribió Aristóteles en el *Político* que la esclavitud humana desaparecería el día en que los telares trabajasen por su cuenta y las liras sonasen solas. "En esa época", añadió, "el maestro de artesanos no necesitará ayudantes ni el señor esclavos". El sueño de liberar a la Humanidad de la carga del trabajo por medio de máquinas automáticas data ya de siglos. Herón de Alejandría, que proyectó un dispositivo de vapor para abrir una puerta, describió también un taller equipado con muñecos que cortaban madera para la construcción (una remota visión de la fábrica automatizada). La mecanización —la sustitución del trabajo humano por máquinas— apareció por primera vez, a gran escala, en el siglo XVIII, pero la automatización —la colocación de estas máquinas dentro de un sistema autorregulado— no se ha desarrollado hasta el siglo XX. Sólo en este siglo las técnicas de producción en masa han sido ampliamente automatizadas con líneas de montaje, máquinas de transferencia, mecanismos de retorno, y computarización del diseño y de la producción.

Mecanización El primer paso de la moderna transferencia del trabajo a la máquina fue descrito por Adam Smith en su *Investigación sobre la naturaleza y causa de la riqueza de las naciones* (1776). Smith demostró cómo la capacidad de producción de una fábrica se podía mejorar mucho especializando a cada trabajador en una tarea única, que pudiera repetir muchas veces. Partiendo de esta observación, bastó un pequeño paso para obtener máquinas que efectuasen estos trabajos. Actualmente, dichas máquinas son definidas con frecuencia como elementos de accionamiento y constituyen las "contracciones musculares" de la automatización. Se trata simplemente de máquinas que manejan piezas o que efectúan trabajos sobre ellas. Por ejemplo, en una planta embotelladora, los brazos mecánicos que colocan las botellas, llevándolas de forma ordenada a la máquina que inserta los tapones. Las partes que colocan y tapan las botellas son elementos de funcionamiento. La sustitución de los hombres por dichas máquinas se había efectuado ya, mientras Smith escribía sobre inventos de desarrollo reciente, con máquinas alimentadas por vapor. La industria de enlatado de carnes de Chicago empezó a usar líneas de montaje en 1870. En lugar de desplazarse de un lugar a otro, de pieza en pieza, en las cadenas de montaje los trabajadores permanecen en sus puestos y las cintas transportadoras les llevan las piezas. Las máquinas de transferencia automática, introducidas durante la II Guerra Mundial, lograron que las cadenas de montaje evolucionaran aún más: el trabajo se efectuaba totalmente sin intervención humana. Una cadena de montaje con transferencia automática es parecida a una normal, pero con máquinas sustituyendo al hombre. Cada máquina recibe una pieza, efectúa algunas operaciones sobre ella y la pasa a la siguiente. Con estos dispositivos de transferencia, todas las fases de la producción quedan bajo el control de las máquinas.

Realimentación Sin embargo, la verdadera automatización no se logra hasta la llegada de los mecanismos autorregulados. Dichos mecanismos reciben una serie de instrucciones, procedimientos y, eventualmente, esquemas (un programa) para desarrollar operaciones complejas en varias fases. Los mecanismos programados pueden decidir la aceleración o el retraso de un ciclo de trabajo, variaciones en la ejecución, o incluso la interrupción completa. Un mecanismo que recibe información sobre los resultados de un ciclo de trabajo y puede actuar en consecuencia se conoce como *mecanismo con realimentación* o *realimentado*. Esto último no sólo sustituye a un jefe de equipo que tomaría dichas decisiones, sino también, en una instalación bien programada, puede efectivamente garantizar un mayor rendimiento dadas su rapidez y precisión de respuesta frente a cualquier variación. El lanzamiento de cohetes o el pilotaje de sondas espaciales sería imposible sin la realimentación instantánea de información a sistemas automatizados. Tres tipos de elementos constituyen los sistemas de realimentación. Los elementos sensores, que comprueban y toman medidas; los elementos de decisión, que comparan la información recibida a través de los sensores con la información propia almacenada; y los elementos de control, que ejecutan las instrucciones dadas por los de decisión. Los sensores efectúan constantes lecturas, en una fase específica del procedimiento automatizado, para comprobar que la instalación funciona normalmente. Estos dispositivos emplean instrumentos físicos, eléctricos, ópticos o de otro tipo para verificar el ciclo de trabajo. Entre los sensores que se emplean más corrientemente se encuentran las células fotoeléctricas, los medidores de temperatura y los aparatos de rayos X. En las instalaciones más sofisticadas, los sensores —como ocurre en el cuerpo humano— pueden enviar información (o datos) al elemento de decisión, el "cerebro" de la instalación. Sin embargo, a diferencia de los sentidos del hombre, los sensores suministran inequívocos valores cuantitativos sobre temperatura, peso, tamaño, resistencia eléctrica, etc. En el elemento de decisión, los datos suministrados por los sensores (que describen la operación efectivamente realizada) son comparados con ciertos valores de consigna o parámetros de ejecución (que describen cómo debe desarrollarse la operación). Si aparecen diferencias entre los datos efectivos y los programados, el elemento de decisión —generalmente se trata de circuitos electrónicos en el interior de un ordenador— emite señales que activan los elementos de control. Estos, llamados también *servomecanismos*, realizan las correcciones ordenadas por el elemento de decisión. Los servomecanis-

sala de control de una instalación para la generación de energía termoeléctrica

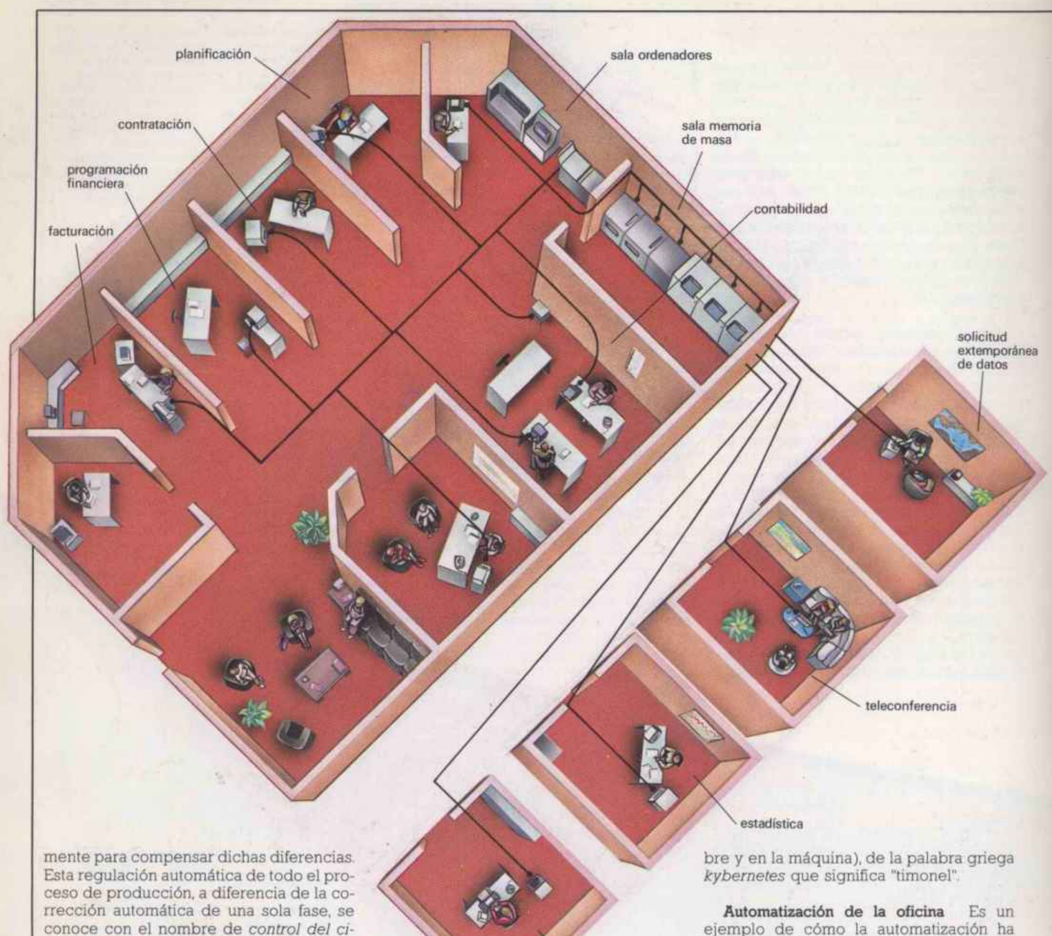


mos controlan a su vez a los elementos de accionamiento (o sea, tienen motores separados para realizar sus órdenes) y modifican la ejecución del trabajo hasta que los datos suministrados por los sensores indiquen que las operaciones proceden correctamente según el programa.

Los elementos de programación, de accionamiento, los sensores, los elementos de decisión y de control actúan en conjunto, formando un sistema de retorno en lazo cerrado, o circuito de realimentación. Cada fase de un sistema de producción requiere su propio circuito de realimentación para vigilar, regular y modificar su funcionamiento.

Control numérico, control del proceso productivo, automatización integrada En un sistema ampliamente automatizado, como una instalación para la producción de acero, aparecen muchas fases de fabricación: el acero es calentado, colado, enfriado, cortado, agujereado y trabajado según las especificaciones. El control de cada una de estas fases se efectúa por medio de control numérico, lo que significa que cada fase está regulada numéricamente. También la interacción entre las diferentes fases debe ser cuidadosamente controlada y los elementos de decisión han de ser programados para hacer frente a una increíble cantidad de eventualidades. Si, por cualquier causa, las características del acero, en alguna fase, fueran diferentes de las especificadas, todas las operaciones han de ser reguladas inmediata-

A la izquierda, esquema del principio de la regulación automática. Abajo, el flujo de una magnitud es medido en R y un órgano de decisión D determina la regulación que ha de hacerse en A. Una decisión correcta regula el flujo de la magnitud de la forma requerida: arriba, el diagrama de una magnitud varía de manera irregular, pero es mantenida siempre dentro de los límites deseados por el sistema de regulación. En el centro, el sistema ofrece una regulación insuficiente. Abajo, la regulación es efectuada por medio de una reacción contraria excesiva y produce una oscilación. En la foto, sala de controles de una gran central eléctrica completamente automatizada. En los paneles superiores se registra la trayectoria del flujo de energía eléctrica; en el centro, los instrumentos muestran el valor de las magnitudes en cuestión, y en las mesas se encuentran los mandos.



mente para compensar dichas diferencias. Esta regulación automática de todo el proceso de producción, a diferencia de la corrección automática de una sola fase, se conoce con el nombre de *control del ciclo productivo*. En el control del proceso de producción puede ser necesario tomar decisiones según el rendimiento, los datos tabulados, el coste, la información transmitida al elemento de decisión sobre la disponibilidad de materiales y de mano de obra, así como de las estadísticas y de los precios previstos de lanzamiento al mercado. Algunos sistemas de control del proceso de producción son tan complicados y tienen tantas variables, que se pueden realizar sólo con la ayuda de ordenadores. El empleo de computadores para tomar decisiones en los procesos de producción automatizados se suele denominar automatización integrada o *cibernetización*, que deriva de la palabra *cibernética* (término empleado por Norbert Wiener para designar una nueva rama de la ciencia que se ocupa de los problemas de la comunicación y del control en el hombre y en la máquina), de la palabra griega *kybernetes* que significa "timonel".

La automatización de oficinas es una de las últimas aplicaciones de la informática. Lo primero en automatizarse ha sido la contabilidad. Un computador y muchos terminales ofrecen a los contables la posibilidad de efectuar cada uno la escritura de sus datos en una única memoria de masa, en la cual se encuentra la base de datos de la empresa. De aquí, posteriormente, se pueden extraer tanto las declaraciones fiscales como información útil para la gestión de la firma. Para ello, en las oficinas de dirección existen unos terminales que permiten al directivo acceder continuamente a la información sobre la evolución de la empresa. También el trabajo de escritura de cartas y textos emplea sistemas de tratamiento automáticos; además es posible conectar la base de datos de una gran empresa con sucursales en cualquier parte del mundo o incluso con terminales de los clientes.

Automatización de la oficina Es un ejemplo de cómo la automatización ha empezado a cambiar la forma de trabajar. Aquí no se trata únicamente de mejorar el equipo de base, como ficheros, mesas de trabajo, máquinas de escribir, y elementos afines. Automatizar la oficina significa integrar todo este equipo en un sistema. Por ejemplo, el puesto de trabajo automatizado para oficina va equipado con teclado electrónico, terminal gráfico (pantalla), impresora. Todos los puestos de una oficina están conectados entre sí y a una base de datos del computador central. En una gran empresa con sucursales en distintos países, los satélites para telecomunicaciones enlazan a su vez todas estas oficinas.

CAD/CAM Los sistemas más avanzados de automatización industrial son el diseño asistido por computador (CAD) y la producción asistida por computador (CAM). Con un sistema CAD, un técnico

puede introducir en un ordenador modelos de diseño, esbozándolos en una pantalla gráfica —una especie de hoja de diseño electrónica— que puede representar perspectivas de sólidos con superficies sombreadas y coloreadas. Con algunas instrucciones al computador, el técnico puede obtener en pantalla una parte del diseño, girarla y hacer que aparezcan secciones o perspectivas desde diferentes ángulos. El técnico puede también dar órdenes al computador para que efectúe experimentos con el diseño, comprobándolo sin necesidad de perder el tiempo fabricando realmente un prototipo con el que hacer ensayos. Así los ordenadores eliminan diseños insatisfactorios antes de materializarlos.

Los sistemas CAM emplean computadores para guiar y controlar procesos de producción. En algunas fundiciones, por ejemplo, un computador da instrucciones a las máquinas para seleccionar ciertos tipos de piezas de metal y cortarlas siguiendo un modelo previamente programado. A continuación ordena a la máquina que pase la pieza a otras máquinas para efectuar diversos trabajos sobre ella.

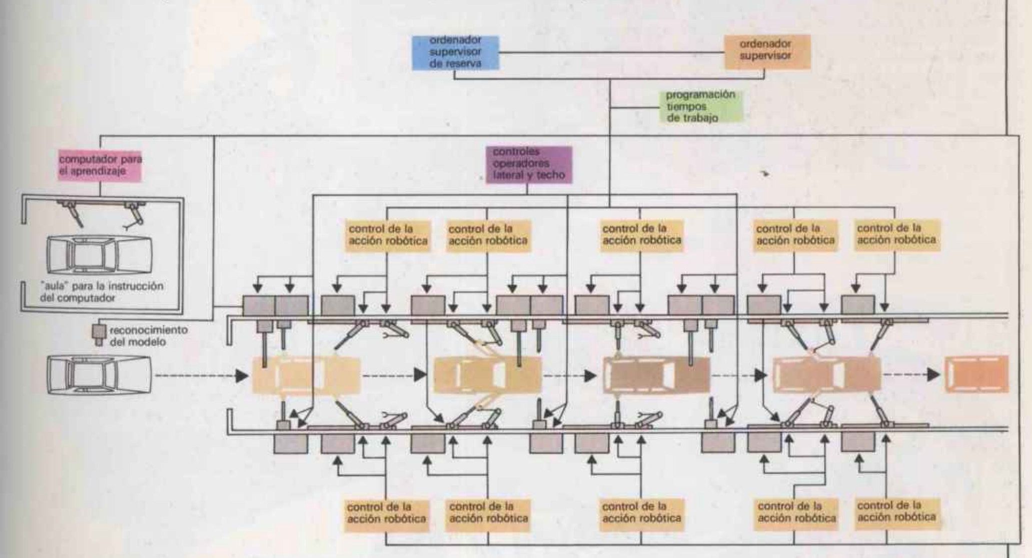
Actualmente algunas fundiciones tienen sistemas de diseño y producción integrados y controlados por computadora (ICAM), en los cuales se interrelacionan los dos sistemas. Aquí las instrucciones para la producción CAM llegan directamente de los terminales CAD, donde los modelos han sido previamente desarrollados.

Avances de la automatización En pocas decenas de años, desde que se empezó a difundir, la automatización ha mejorado la productividad, la eficiencia y la seguridad en las industrias, desde el tratamiento químico a la producción del acero y la conmutación telefónica. Se ha demostrado útil también en ambientes de trabajo donde la salud humana puede correr riesgos, como en algunas zonas de las centrales nucleares. Es probable que en el futuro se haga un uso cada vez mayor de los robots industriales, es decir, de dispositivos mecánicos proyectados para funcionar con la habilidad del personal humano y para trabajar como componente en instalaciones automatizadas. Los sistemas ICAM son relativamente caros y requieren una capacidad técnica avanzada; sin embargo, con el avance espectacular que en los últimos años se viene observando en la tecnología microelectrónica, cada vez se van ampliando más los tipos de procesos que incorporan estos sistemas.

Por otra parte, la automatización no presenta sólo ventajas y, aunque es extremadamente útil en el funcionamiento automático de la producción industrial, existe un riesgo potencial en el hecho de que el hombre quede supeditado a la máquina.

Un ejemplo de este peligro lo constituyen de forma dramática las armas automáticas. Actualmente, como los misiles pueden alcanzar sus blancos en pocos minutos, la decisión de lanzar o no las armas de represalia —y sobre qué objetivos— tiene tras de sí una red de computadoras que "toman decisiones" que afectan a toda la Humanidad. Ningún sistema es infalible y algunos errores —afortunadamente remediados en el último momento por la intervención humana— han ocurrido ya. Y es que el precio de hacer que las máquinas hagan nuestro trabajo está en controlarlas continuamente.

Véase **Cibernética; Ordenador; Robótica**



En cierto modo, la "industrialización" de las actividades humanas es la automatización del trabajo del hombre. Las máquinas que en el siglo pasado sustituían paulatinamente al hombre eran sistemas automáticos, pero rudimentarios y estaban dedicados principalmente a actividades que requerían mucha energía. En cambio, en el esquema representado sobre estas líneas vemos la automatización en su última fase: la que se ha obtenido por medio de los robots. Aquí están dedicados al montaje de automóviles, en el que se deben hacer operaciones mecánicas que no requieren una gran cantidad de energía. En el ejemplo, por la línea de montaje pasan vehículos que son pintados por medio de pulverizadores. La línea está equipada con dispositivos para dirigir las pistolas de chorro hacia los puntos oportunos de la carrocería. El sistema es capaz de efectuar también operaciones como la apertura de las puertas para poder llevar la pintura incluso al interior. El empleo de este sistema automático produce un acabado que no es peor del que se obtiene con operadores humanos; en este caso la ventaja no es tanto la sustitución del hombre por un autómata de menor coste, como evitar que el operador respire la pintura pulverizada y los vapores de sus disolventes, siempre tóxicos. Estos robots pueden ser "instruidos": un hombre guía la pistola pulverizadora efectuando los movimientos que él haría para conseguir un buen acabado. La máquina "aprende" y "recuerda" estos movimientos y los repite infinidad de veces. En el futuro, este y otros robots estarán equipados con sistemas de visión computerizados, que les darán una enorme flexibilidad y adaptación.

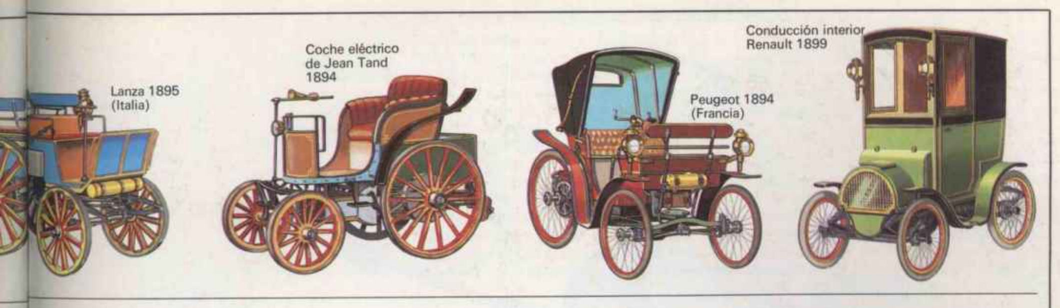
Automóvil

Exceptuando algunos automóviles de vapor que aún sobreviven y los vehículos experimentales concebidos para usos especiales, la mayoría de los automóviles son sistemas en los cuales se hace explotar una mezcla comprimida de gasolina y aire, utilizándose la energía que se desarrolla para el desplazamiento del vehículo en la forma deseada. Existen igualmente muchos automóviles que en lugar de gasolina emplean otros combustibles, como el gasóleo, gas butano o alcohol. La energía se libera en el *motor de combustión*, un dispositivo cuya historia está estrechamente relacionada con la del automóvil. Dentro del motor, la mezcla gasolina-aire es introducida en un *cilindro* en cuyo interior hay un mecanismo, el *émbolo* o *pistón*, que retiene los gases y que además se mueve alternativamente hacia arriba o hacia abajo dentro del cilindro. A diferencia de Estados Unidos, donde la mayoría de los automóviles disponen de ocho émbolos, en Europa predominan los vehículos de cuatro, aunque los automóviles de seis pistones son cada día más. Según el caso, el motor se denomina de cuatro, seis u ocho cilindros. Cuando los émbolos se mueven hacia la parte superior del cilindro, denominada *cámara de combustión*, comprimen la mezcla carburante-aire que allí se encuentra. En ese mismo instante, la chispa provocada por una *bujía* produce la explosión del gas, que, expandiéndose, empuja nuevamente el émbolo hacia la parte inferior del cilindro.

El émbolo se conecta por medio de la *biela* al *cigüeñal*, que con su forma parti-



Arriba vemos la evolución de los modelos de automóviles en sus comienzos. Los primeros modelos son de vapor; la técnica fue copiada de la empleada por entonces en las bicicletas, y la colocación de los pasajeros era la de los carruajes de caballos. Los conductores se vanagloriaban de frenar en menos espacio que dichos carruajes. Entonces aparece el Ford T, considerado como el automóvil del futuro. Las prestaciones mecánicas eran superiores a las de todos los otros modelos, y las soluciones técnicas, prácticamente las actuales. Se fabricaba en serie, a bajo coste y podían comprarlo hasta los obreros que lo estaban fabricando.





cular transforma en rotación el movimiento alternativo del pistón. Normalmente el movimiento del cigüeñal es transmitido por medio de engranajes y transmisiones al *puente posterior*, o barra metálica que une las ruedas posteriores. Hoy en día, en los automóviles modernos se está extendiendo cada vez más la modalidad consistente en transmitir el movimiento a las ruedas anteriores, denominándose así el vehículo de *tracción delantera*. El automóvil está compuesto, pues, por un mecanismo que utiliza la energía desarrollada por las explosiones controladas para dotarle de movimiento, y de otros dispositivos con misiones como la regulación de la velocidad de rotación de las ruedas, la dirección de marcha requerida y el frenado.

El mecanismo a través del cual se transmite la potencia del motor a las ruedas y que modifica el régimen de rotación del motor, según las necesidades del vehículo, es el *cambio de marchas* o *de velocidades*. Hay dos tipos de cambio de velocidades, automático y manual; en ambos casos el cambio de velocidad es el dispositivo de conexión entre el motor y el puente, y el encargado de variar la relación de transmisión entre estos dos mecanismos. El cambio puede transmitir el movimiento a través de distintas series de engranajes (una por cada marcha de que dispone), pudiéndose escoger así entre las posibles relaciones para variar la forma en que llega a las ruedas la energía necesaria. En las marchas inferiores se dispone de un par motor máximo, obteniéndose menos revoluciones en las ruedas; en las marchas altas disminuye el par pero se multiplican las revoluciones, y la velocidad del vehículo aumenta.

Para viajar con cierta seguridad son igualmente indispensables unos buenos frenos y una buena dirección. Ambos sistemas, el de frenado y el de dirección, han sido proyectados por los fabricantes de automóviles con el fin de garantizar la máxima seguridad y de responder a las exigencias del público.

Cómo se construye El automóvil ha llegado a ser el símbolo del siglo XX, superando a cualquier otra invención, y Henry Ford puede ser considerado el creador de la moderna industria automovilística.

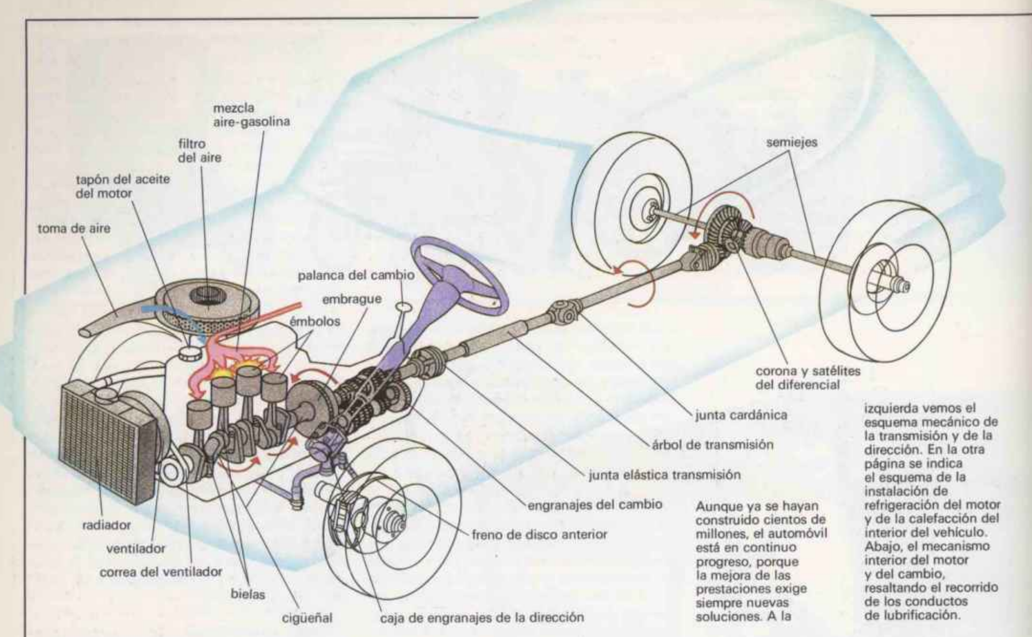
A partir del año 1893, Ford estudió sistemáticamente todo lo concerniente a la fabricación de los automóviles: un eficiente proyecto de motor, métodos de ensamblaje, técnicas de *marketing* y hasta la fabricación del acero. En el año 1908 ya estaba preparado para iniciar la producción de su famoso modelo T, el *Tin Lizzie*.

La mayor innovación de Ford fue la de construir los automóviles utilizando el

EVOLUCION DE LAS "FORMAS" DESDE 1930 HASTA NUESTROS DIAS



Arriba, tres modelos de automóviles correspondientes a los años treinta, cuarenta y cincuenta. Es clara la evolución desde el primer modelo, construido para el lujo y prestigio, a los otros cuyas formas, aun buscando la buena presentación estética, se orientan hacia la óptima penetración aerodinámica. Debajo tenemos tres modelos actuales. Dos pueden ser considerados experimentales; en el primero se ha cuidado sólo el aspecto exterior, cuya aerodinámica llega a la exageración; en el segundo impera la funcionalidad impuesta por el sistema de tracción. Con el tercero se busca la solidez.



Aunque ya se hayan construido cientos de millones, el automóvil está en continuo progreso, porque la mejora de las prestaciones exige siempre nuevas soluciones. A la izquierda vemos el esquema mecánico de la transmisión y de la dirección. En la otra página se indica el esquema de la instalación de refrigeración del motor y de la calefacción del interior del vehículo. Abajo, el mecanismo interior del motor y del cambio, resaltando el recorrido de los conductos de lubrificación.

principio de la cadena de montaje: los vehículos avanzaban a lo largo de un recorrido pasando de un obrero a otro, cada uno de ellos con una misión bien definida (uno montaba el eje posterior, otro colocaba las puertas, un tercero fijaba el volante, y así sucesivamente hasta dejar el coche terminado). Ford descubrió que de esta forma el trabajo se desarrollaba con mayor eficacia, pues cada operario tenía una sola misión y la podía realizar bien sin perder tiempo ni energías en moverse alrededor del automóvil. Había líneas de montaje para cada uno de los principales componentes —el motor, el bastidor, el eje anterior, el eje posterior, etc.—; luego, todos estos grupos eran montados entre sí en la línea principal de ensamblaje. El *Tin Lizzie* tuvo un éxito enorme. Ford lo había proyectado para poderlo ofrecer muy barato, y en el año 1927 había vendido ya 15.000.000 de coches de este primer modelo.

La moderna fábrica de automóviles está constituida en realidad por muchas fábricas reunidas en una. Es enorme la variedad de tareas que hay que realizar para fabricar un automóvil. Grandes cantidades de acero de todo tipo deben ser estampadas, cortadas, templadas y fundidas. Los utensilios empleados para construir las piezas del automóvil necesitan constante mantenimiento y reparación para que conserven su máxima eficacia. En las principales instalaciones automovilísticas existen secciones enteras dedicadas a mantener a punto las brocas de los taladros, las prensas y los tornos.

Una fábrica de coches utiliza gran cantidad de energía eléctrica para calentar, iluminar, fundir y desplazar las piezas por medio de cintas transportadoras, de tal forma que a cualquier hora del día están en servicio muchos electricistas.

Cada componente del automóvil es revisado por separado, de la misma forma que se supervisa el producto final. El control de fabricación del automóvil ha llegado a ser una especie de industria dentro de la propia industria automovilística; hoy más que nunca, dada la situación de acentuada competencia que domina el mercado, el control es cada vez más importante. Existen muchas cadenas de montaje secundarias en donde se montan por separado los grupos que componen el automóvil. Una de las más importantes es la que se dedica a la carrocería. Generalmente las distintas piezas de la carrocería se construyen en la misma factoría automovilística. Se emplean prensas gigantes, algunas de más de 6 m de altura, para estampar las distintas piezas del vehículo. El acero o el aluminio, según lo requiera la pieza a construir, se calienta hasta casi el punto de fusión y se coloca después en la prensa. Más o menos de la misma forma que se hacen las galletas en moldes, la prensa corta y moldea el metal, que asume la forma deseada (por ejemplo, la del capó). Otras prensas se emplean para las puertas, el techo, las aletas laterales y las restantes piezas. A menudo hay que sustituir las matrices del interior de las prensas, es decir, las partes que están directamente en contacto con el metal caliente, sea porque ya no funcionan perfectamente, sea para la construcción de otro modelo de automóvil distinto. Este proceso de renovación de útiles es uno de los más difíciles y costosos en la industria automovilística.

Las distintas piezas de la carrocería, después de estampadas, se cuelgan generalmente en los ganchos de una cadena móvil suspendida en lo alto, que las transporta automáticamente hasta el lugar donde están los obreros que han de unirlas para formar el conjunto de la carrocería. Las piezas se sujetan en su posición con útiles especiales, y posteriormente son soldadas por puntos. Este último proceso lo realizan —por lo general, automáticamente— máquinas programadas, que por medio de equipos de soldadura eléctrica ejecutan miles de puntos de soldadura. Muchas piezas, sin embargo, deben ser soldadas a mano.

La carrocería ya terminada se coloca sobre una cinta transportadora, que la sumerge en una gran cuba llena de pintura de la cual se recubre su interior y su exterior. Después de varias manos de pintura y de varios secados, se transporta con la cinta hasta la cadena principal de montaje, donde se termina el automóvil.

Mientras se construye la carrocería, en las demás cadenas secundarias se montan los otros componentes esenciales. Los motores, los cambios y los puentes pasan por procesos de fabricación especiales, que emplean técnicas de montaje parecidas a las utilizadas en las carrocerías. Posteriormente pasan también a la cadena

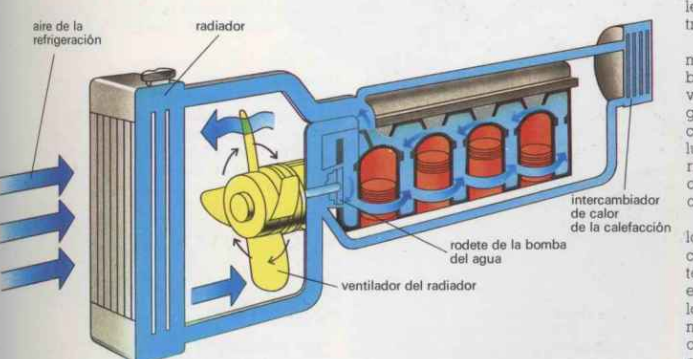
principal. Llegan suspendidos de una cinta transportadora aérea y pueden ser bajados o subidos, según se precise, cuando pasan por la línea de montaje. Es típico el montaje conjunto del motor y el puente posterior, o el del motor y el puente anterior si el vehículo es de tracción delantera; ambos son atornillados en su posición por un equipo de obreros, que cumplen así la fase más importante del proceso de montaje. Luego el automóvil sigue su recorrido y es completado con el otro eje, el mecanismo de la dirección, la instalación eléctrica, los asientos, los revestimientos interiores, la instrumentación y la terminación exterior.

En su totalidad, puesta en línea, la cadena de montaje de un automóvil puede tener más de 1,5 km de longitud, pero nunca está dispuesta sobre una misma línea recta, ya que varias líneas secundarias son colocadas en paralelo para mayor comodidad.

Contaminación y automóvil El motor de un automóvil, como el resto de los motores de combustión, no quema completamente todo el combustible que lo alimenta y por lo tanto descarga en el aire una gran cantidad de productos de desecho que son precisamente los gases de escape. Estos gases deben ser evacuados del motor continuamente si queremos que pueda entrar la nueva mezcla aire-gasolina que producirá las siguientes explosiones. Los gases producidos por la combustión, y que son los causantes de gran parte de la contaminación atmosférica imputable a los automóviles, están compuestos principalmente por hidrocarburos o mezclas derivadas del hidrógeno y del carbono existentes en la gasolina, por monóxido de carbono (que en dosis masivas es letal para el hombre) y por mezclas de nitrógeno y oxígeno.

La contaminación causada por los automóviles se ha convertido en un serio problema para los países industrializados. A veces la contaminación producida por los gases de combustión es tan grave que constituye una seria amenaza para la salud pública, lo que ha conducido al desarrollo de dispositivos destinados a limitar o eliminar la emisión de las sustancias contaminantes.

En síntesis, son cuatro los métodos con los que los ingenieros han intentado reducir la contaminación producida por los automóviles: volver a quemar los gases de escape para consumir, esta segunda vez, los compuestos indeseables; modificar el motor para que produzca menos sustancias contaminantes; eliminar las sustancias contaminantes después de que el motor las haya producido; o, de una forma más



lubrificación de las levas y vástagos de la distribución
lubrificación de la culata y vástagos de la distribución
varilla de nivel de aceite del motor
lubrificación del émbolo y de la camisa
en verde se indican los conductos por los que el aceite es enviado a presión o por borboteo
cartucho del filtro de aceite
lubrificación del cojinete de bancada posterior que soporta el embrague
cambio de velocidades con lubrificación independiente del motor
lubrificación de la cadena de la distribución
lubrificación del eje de biela
lubrificación de los cojinetes de bancada y de bielas
lubrificación del cojinete de bancada anterior que soporta la polea de la correa
nivel del aceite
bomba de aceite sumergida (para los engranajes)
tamiz filtro aceite

radical, modificar los combustibles. Todos estos métodos reducen el *smog* (neblina espesa y amarillenta, producto de la combinación de humo y niebla), pero producen otros problemas que, según los expertos, son mucho más graves que los que se quiere resolver.

El primer método se basa en el principio de que quemando un combustible dos veces, aunque sea de forma incompleta, éste se consume mucho más que si se quema sólo una. La *válvula de ventilación del bloque motor* (PLV) constituye un sencillo ejemplo. Fue uno de los primeros dispositivos introducidos en Estados Unidos para disminuir la contaminación causada por los automóviles. Está constituido por una válvula que envía hacia el carburador —donde se mezclan con el aire y el combustible— los vapores de aceite y gases que escapan por los émbolos y que se encuentran en el bloque motor. Existe un dispositivo análogo, de *recirculación de los gases de escape*, que repite la misma operación con esos gases.

La modificación del motor prevista en el segundo método —transformarlo para que produzca menos sustancias contaminantes— está condicionada a una serie de intervenciones mecánicas tales como el cambio revolucionario en la forma de quemar la gasolina utilizado por las industrias japonesas Honda y Mitsubishi, o el intrincado sistema de ingenios y controles electrónicos de los actuales automóviles norteamericanos. Los japoneses introdujeron el motor de *carga estratificada*, en el cual la mezcla se dirige por dos canales: en el primero, una pequeña cantidad de gasolina es encendida por medio de una bujía, como en los motores normales, mientras que el segundo estrato, que contiene la mayor cantidad de gasolina, es prendido por el primero. Este sistema doble permite que el combustible sea encendido por una pequeña explosión en lugar de por una chispa. El frente de llama más amplio produce una combustión más completa.

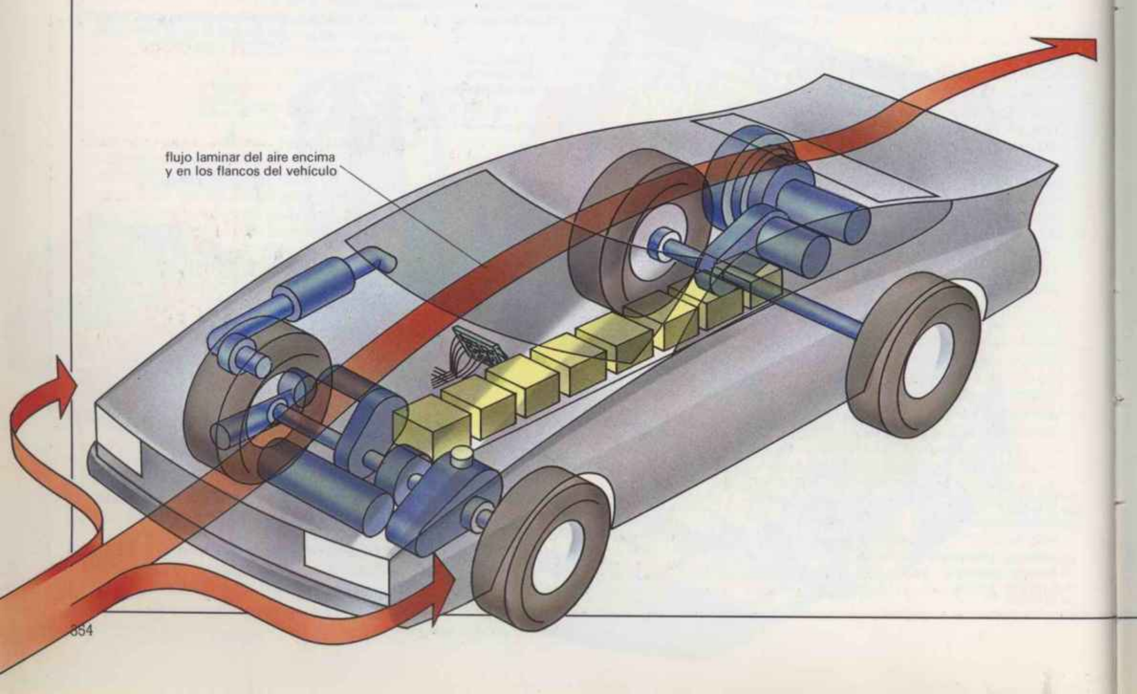
El tercer método arriba mencionado, el más conocido, consiste en destruir los gases luego de la combustión, cosa que realiza el *convertidor catalítico*, que es una caja rectangular a través de la cual pasan los gases. Esta caja contiene una serie de filtros en forma de nido de abeja, revestidos de metales costosos, como el palladium y el platino, que lo encarecen enormemente.

El convertidor hace circular los gases de escape por los filtros, que están situados sobre las superficies interiores de la caja, y los metales catalizan —por medio de reacciones químicas— los compuestos presentes en dichos gases. Los *catalizadores* separan los hidrocarburos y el monóxido de carbono de los gases de escape de los automóviles, haciéndolos reaccionar y obteniendo agua, dióxido de carbono y residuos sólidos, que se depositan en el interior del convertidor. El proceso resulta muy costoso para los propietarios de los automóviles, ya que cada 80.000 km hay que sustituir los convertidores catalíticos; además, estos dispositivos obstaculizan el paso de los gases, y por lo tanto aumenta la resistencia al escape y disminuye el rendimiento óptimo del motor.

La cuarta solución mencionada consiste en modificar el carburante. En España aún se sigue añadiendo a la gasolina unos aditivos, constituidos por compuestos orgánicos del plomo, con los cuales se consigue de los motores una mayor potencia. Desgraciadamente, con estos aditivos los gases de escape se vuelven altamente tóxicos. Se puede utilizar gasolina sin plomo, pero los motores funcionan con menor eficacia. Conseguir una gasolina sin aditivos y con alto número de octanos, para que queme mejor produciendo una contaminación menor, supone utilizar una mayor cantidad de petróleo en su fabricación.

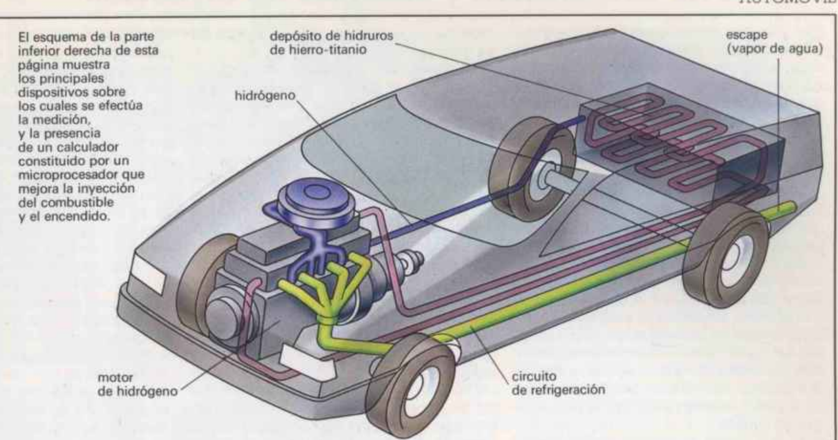
Se pone así en evidencia uno de los problemas más importantes relacionados con la reducción de la contaminación que ocasiona el automóvil. Todos los dispositivos son indudablemente eficaces, ya que permiten una menor contaminación a igual cantidad de gasolina consumida, pero casi todos conllevan también una pérdida de eficacia, es decir, una disminución de la potencia suministrada por una determinada cantidad de gasolina. Estamos, por lo tanto, ante el dilema de evitar la contaminación o ahorrar energía, dos problemas igualmente importantes pero quizá irreconciliables.

Las perspectivas del automóvil Gracias al automóvil, el hombre disfruta hoy en día de una libertad de movimiento individual que nunca ha tenido, cuyo pre-



La electrónica puede ayudar a disminuir los consumos. Hay consumos a régimen normal, como cuando un automóvil rueda a velocidad constante en una autopista, y los que se tienen con el motor frío y aire frío o de poca densidad, que pueden incidir en la economía general del vehículo. Un control de los datos que influyen sobre el consumo garantiza su disminución. El mayor coste del equipo de toma de datos y de cálculo es compensado por la economía de combustible.

El esquema de la parte inferior derecha de esta página muestra los principales dispositivos sobre los cuales se efectúa la medición, y la presencia de un calculador constituido por un microprocesador que mejora la inyección del combustible y el encendido.

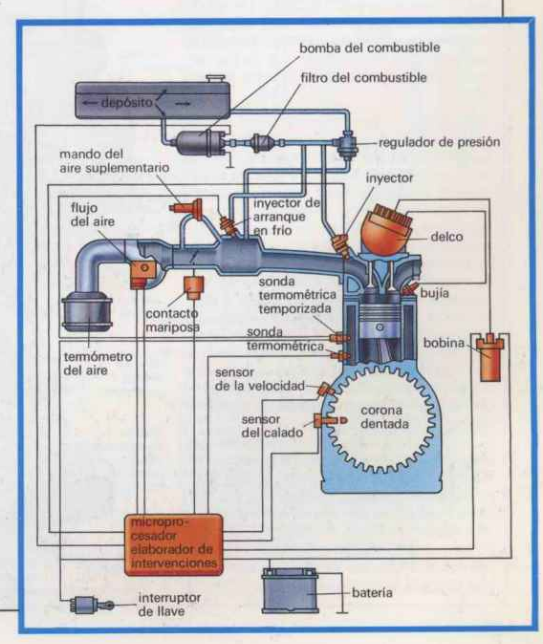


cio, sin embargo, está en continuo aumento. Efectivamente, el moderno motor de combustión interna fue proyectado en una época en que los productos petroquímicos eran abundantes y baratos. El aumento del coste de la materia prima está afectando tanto al coste del producto como al gasto de su utilización, repercutiendo por ello en la difusión del automóvil. Por este motivo, en el mercado mundial se registra un incremento de la demanda de automóviles japoneses, cuyo coste de fabricación es menor debido a un mayor empleo de robots. A largo plazo, sin embargo, esta ventaja no será decisiva, ya que el precio de las materias primas y de los carburantes es similar en todo el mundo y estos dos parámetros son demasiado importantes como para poder ser compensados únicamente por la sola disminución del coste de producción.

Por todo lo dicho, muchas empresas automovilísticas están investigando para construir un motor que consuma poco y vehículos más ligeros que los actuales. Automóviles de menor peso necesitan una menor potencia para su movimiento (lo que constituye una primera fuente de economía) y se construyen con una menor cantidad de materia prima (segunda fuente de economía). Es posible así solucionar muchos problemas sin tener que encaminarse por vías completamente nuevas e inexploradas, utilizando simplemente soluciones aplicadas en otros campos de la motorización, como la aeronáutica. Pensemos, por ejemplo, que en los motores de los automóviles no se han aplicado aún métodos que desde hace tiempo se usan en los aviones para mejorar el rendimiento de los carburantes. La industria automovilística tendrá que efectuar estudios, pero el camino a seguir es prometedor, tanto que antes del año 1990 dispondremos de vehículos que gastarán una tercera parte menos que los actuales, en igualdad de prestaciones. También en el campo de la aerodinámica se puede hacer mucho. Sabemos que a una velocidad de más de 80 km/h la mayor parte de la resistencia debida al movimiento la produce el aire, y que va aumentando con el cuadrado de la velocidad. Hasta ahora la aerodinámica se ha cuidado, pero solamente en lo que se refiere a la parte superior del vehículo, que permitía darle una línea atractiva desde el punto de vista estético, sin embargo, la parte invisible, la inferior, no está ni siquiera carrozada y opone mayor resistencia al aire que la superior.

Véase **Amortiguador; Automóvil, carburación y sistemas de inyección; Automóvil, carrocería y suspensión; Automóvil, diferencial; Automóvil, dirección; Automóvil, embrague y caja de cambios; Automóvil, encendido del; Automóvil, freno; Automóvil, mantenimiento; Automóvil, neumáticos Automóvil, seguridad; Automóvil de competición; Contaminación; Motor de combustión interna; Motor de Otto; Motor Diesel**

Para tratar de reducir el consumo del automóvil se sigue el camino de buscar el óptimo funcionamiento termodinámico del motor y el control electrónico de la alimentación. Sin embargo, el camino más directo es la reducción de la resistencia aerodinámica. En la página de la izquierda vemos un vehículo de nueva concepción en el cual se opta por un sistema de motor híbrido constituido por propulsores eléctricos y de combustión interna. Sobre estas líneas, un vehículo con motor de hidrógeno que tiene la ventaja de eliminar completamente la contaminación y de permitir elevadas prestaciones. Desgraciadamente el hidrógeno no se obtiene de fuentes naturales y se produce consumiendo energía.



Automóvil, carburación y sistemas de inyección

Si prendemos un depósito lleno de gasolina, ésta arderá violentamente, pero no suministrará la cantidad de energía suficiente para accionar un motor. Para que pueda hacer explosión y ser utilizada como carburante, la gasolina debe ser pulverizada, es decir, reducida a partículas muy finas, y mezclada luego con el aire. De esta forma, la superficie total de gasolina que entra en contacto con el aire aumenta notablemente, y por consiguiente, una vez encendida, se quema más rápidamente.

En el motor del automóvil, la preparación y dosificación de la mezcla de gasolina y aire se realiza en el carburador. Seguidamente, esta mezcla pasa a los cilindros, donde es comprimida y encendida por las bujías. Esto provoca una rápida y potente explosión que desplaza el émbolo a lo largo del cilindro, proporcionando así al motor la energía necesaria para mover las ruedas.

El carburador es el dispositivo encargado de que en cada momento la relación entre las cantidades de gasolina y de aire presentes en la mezcla sea la adecuada para el correcto funcionamiento del motor. En condiciones normales, dicha relación, denominada *estequiométrica*, es de 1 kg de gasolina para 14,7 kg de aire (que, medida en volumen, viene a ser de 1 litro de gasolina para 8.400 litros de aire). Esta composición debe permanecer constante, existiendo siempre la posibilidad de variarla si conviene (en casos especiales, como, por ejemplo, cuando hay que lograr la puesta en marcha en frío, cuando el motor funciona al ralentí o cuando son necesarias aceleraciones rápidas). Debido a estas exigencias, el carburador debe disponer de una serie de válvulas de control, de forma que viene a ser uno de los elementos más complejos del motor del automóvil.

Venturi El funcionamiento del carburador para la mezcla de aire y gasolina se basa en el *efecto Venturi*, producido por un elemento mecánico que genera la depresión necesaria para aspirar el carburante que luego entra en los cilindros mezclado con el aire. Esto se lleva a cabo efectuando un estrangulamiento en el conducto que canaliza el aire. Durante el paso por el estrechamiento, las moléculas de aire aceleran su velocidad, aumenta la distancia entre ellas y disminuye su cohesión. La presión del aire en el punto más estrecho del paso es por lo tanto inferior a la que hay en las secciones que la preceden y que la siguen. Cualquier conducto en el que se produce este fenómeno se llama *Venturi* o *tubo de Venturi*.

El carburador se monta en la parte alta del motor y por él pasa el tubo de admisión que recibe de los filtros el aire aspirado por el motor. Un pequeño tubo conduce la gasolina procedente del depósito y la vierte en el flujo de aire que pasa por el carburador en correspondencia con el estrechamiento del "Venturi". El vacío parcial que allí se forma aspira las gotitas de gasolina y las mezcla con el aire que fluye rápido.

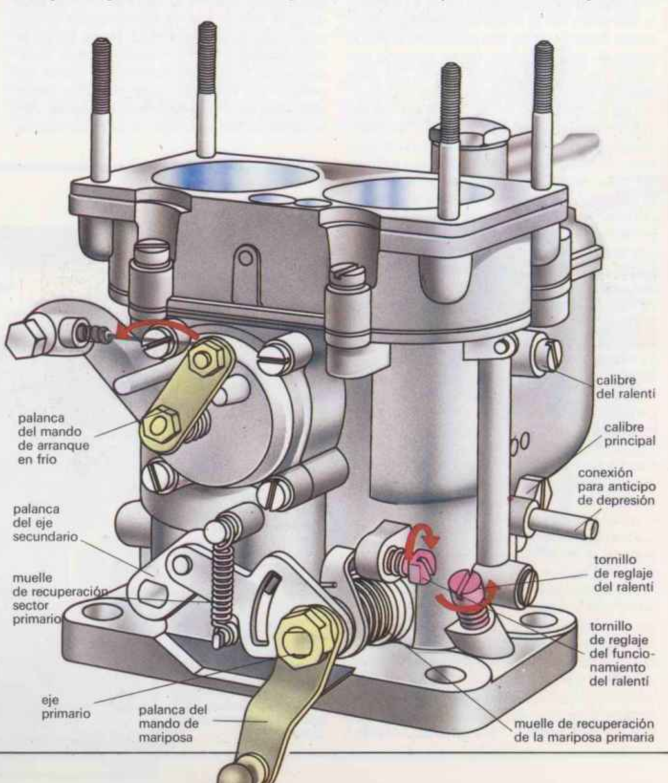
Normalmente se monta un segundo "Venturi" en el interior del primero para aumentar el vacío parcial y la uniformidad de la mezcla. En el tubito que lleva la gasolina al "Venturi" se inyecta una pequeña cantidad de aire que reduce las diminutas gotitas a dimensiones aún más pequeñas.

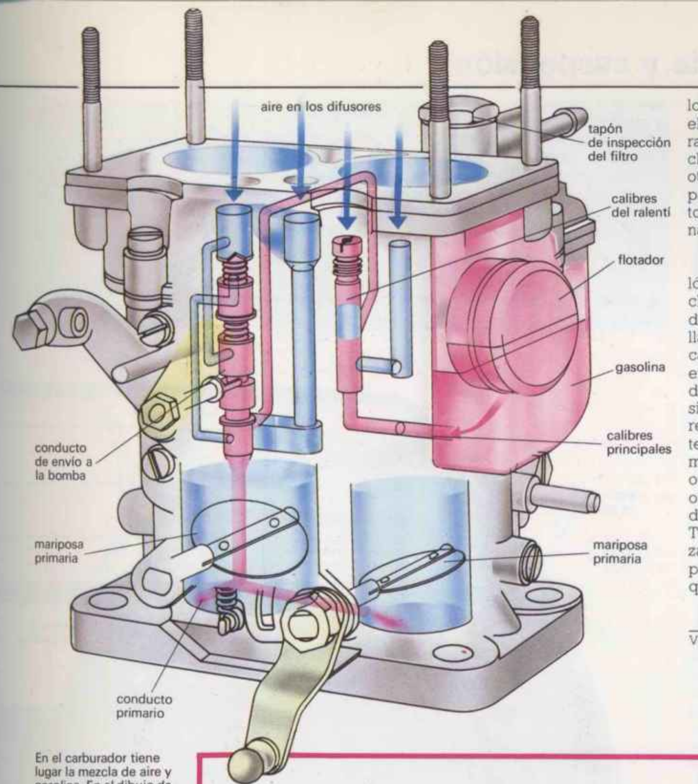
Estárter y válvula de mariposa Son necesarios unos dispositivos de control para regular la relación entre gasolina y aire en la mezcla y dosificar la cantidad de mezcla que tiene que pasar al motor. Los dos más conocidos son el *sistema de arranque* o *estárter* y la *válvula de mariposa*.

El estárter es fundamental para arrancar en frío. En estas circunstancias, el motor no posee la temperatura idónea para favorecer la evaporación del carburante. Además, a temperaturas bajas, el carburante posee una mayor cohesión, lo que hace que en lugar de atomizarse tenga tendencia a constituir gotitas que no se mezclan con el aire y que se depositan en las partes frías del conducto de admisión. La función del estárter es aumentar el porcentaje de gasolina en la mezcla para compensar este inconveniente. El sistema de arranque está formado normalmente por una placa circular que gira sobre un eje y que puede ser accionada manual o automáticamente. Se coloca en el tubo de admisión, encima del "Venturi", y, girando su eje, puede cerrarse el paso del aire, o bien dejarle pasar libremente. Cuando se arranca el motor en frío, la mariposa se cierra parcialmente, disminuyendo el flujo de aire y produciendo una mezcla más rica de lo normal. Cuando el motor se calienta, el estárter vuelve a abrirse.

La válvula de mariposa, colocada debajo del "Venturi", controla la cantidad de carburante que alimenta los cilindros del motor después de que la mezcla ha sido preparada, regulando de esta forma la velocidad del motor. Dicha válvula está también formada por una placa metálica circular que gira sobre un eje accionado por el pedal del acelerador. Cuando se presiona poco el pedal, la válvula disminuye el diámetro de paso, permitiendo que sólo una reducida cantidad de mezcla alimente los cilindros; presionando más el pedal, la válvula abre un paso mayor, dejando fluir más cantidad de mezcla. Pisando a fondo el pedal, la válvula de mariposa se abre completamente.

El estárter y la válvula de mariposa son





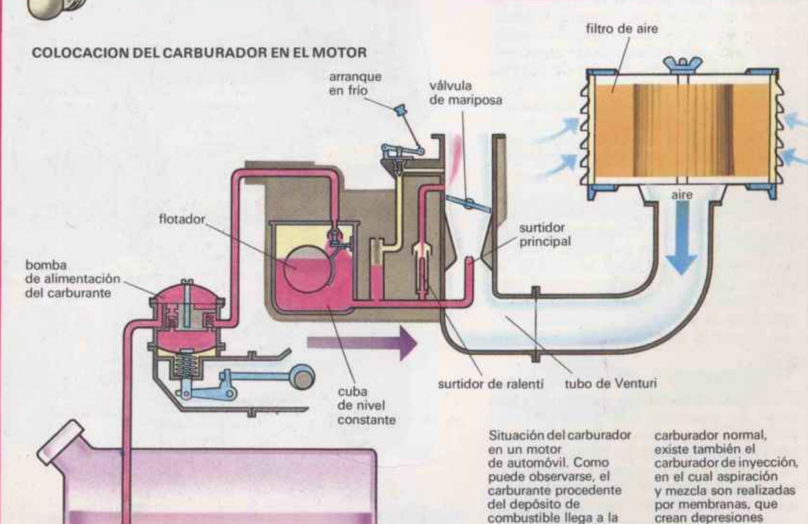
los dos principales elementos con los que el carburador prepara la mezcla de carburante y controla la cantidad de dicha mezcla que debe pasar al motor. Hay además otros sistemas de control para atenuar los pasos bruscos, que podrían inundar el motor y pararlo debido al exceso de gasolina en la mezcla.

Inyección del carburante No en todos los motores que se fabrican hoy se mezclan carburante y aire antes de ser enviados a los cilindros. Un moderno sistema, llamado *inyección electrónica*, pulveriza el carburante directamente en el cilindro o en el colector de aspiración, poco antes de que llegue a los cilindros. Este dispositivo utiliza un ordenador y varios sensores que registran factores tales como la temperatura del aire, la temperatura del motor, la presión y velocidad del aire y otros datos. En base a esta información el ordenador determina la cantidad exacta de carburante a inyectar en los cilindros. Tal sistema, tecnológicamente muy avanzado, no es más que una forma distinta de preparar la mezcla de aire y carburante que precisa el motor.

Véase **Automóvil, mantenimiento**

En el carburador tiene lugar la mezcla de aire y gasolina. En el dibujo de arriba podemos observar el recorrido del aire, que se une con la gasolina en el pozo de mezcla y sale por los surtidores principales. El carburante llega de la cuba de nivel constante a través de los calibres principales, alcanza los tubos emulsionadores y desde aquí, mezclado con el aire, va a la zona de los difusores. La mezcla aire-gasolina así formada es distribuida a las cámaras de los cilindros después de que la válvula de mariposa primaria regule su cantidad con su mayor o menor apertura. Cuando el motor funciona al ralentí, la gasolina del pozo del emulsionador pasa al calibre del mínimo y, mezclada con el aire que llega de un casquillo calibrado, atraviesa el conducto de admisión y llega al surtidor de ralentí, de paso regulable. A la izquierda, carburador de doble cuerpo; las flechas indican la palanca del dispositivo de arranque (en posición de reposo) y los dos tornillos que regulan la mezcla de ralentí y, por tanto, su funcionamiento.

COLOCACION DEL CARBURADOR EN EL MOTOR



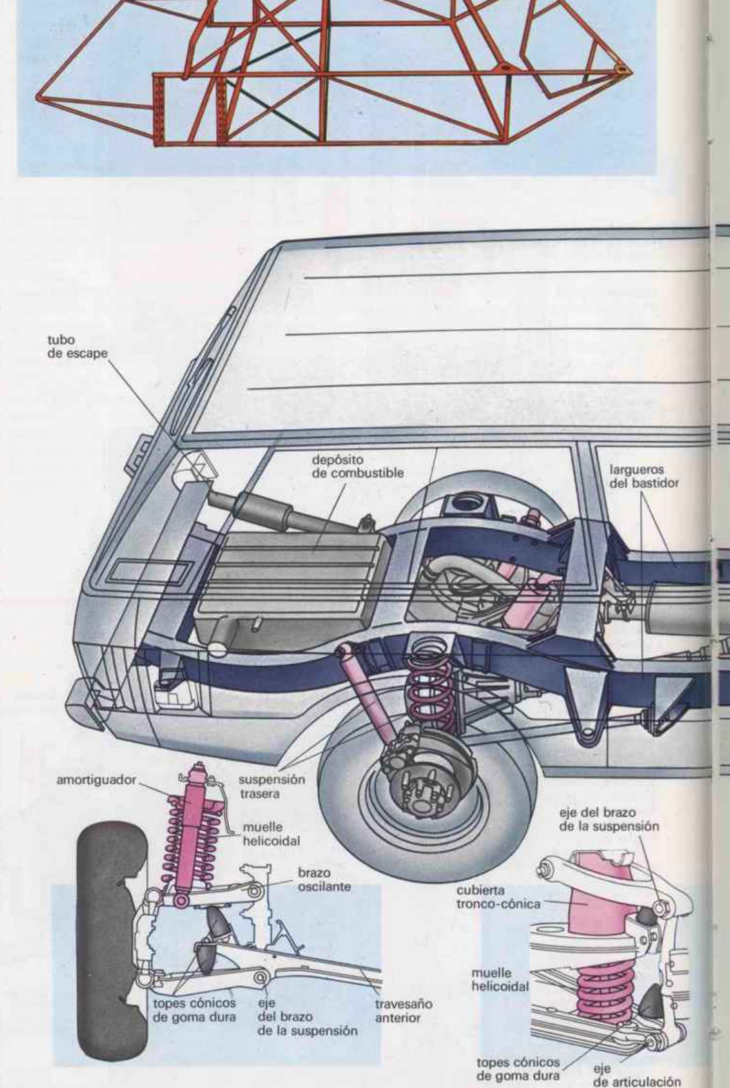
Situación del carburador en un motor de automóvil. Como puede observarse, el carburante procedente del depósito de combustible llega a la cuba de nivel constante del carburador por la acción de una bomba de alimentación mecánica o eléctrica. El aire llega del filtro. Además del carburador normal, existe también el carburador de inyección, en el cual aspiración y mezcla son realizadas por membranas, que crean depresiones proporcionales a los porcentajes de mezcla necesarios en cada momento de funcionamiento del motor.

Automóvil, carrocería y suspensión

La carrocería tiene como principal misión alojar y proteger a los pasajeros y a los órganos mecánicos, confiriendo, al mismo tiempo, una aceptable estética al conjunto. En sus inicios, la carrocería, que en los primeros modelos se apoyaba en un bastidor como en los carruajes de caballos, tenía una habitabilidad reducida a dos incómodas plazas y no ofrecía ninguna protección contra viento, polvo o lluvia. La fase industrial de su fabricación se inició en 1908 con el *Ford T* de Henry Ford. La introducción de las carrocerías, obtenidas mediante estampación en frío de chapa sucesivamente soldada y pintada a pistola, dio un notable impulso a la producción de automóviles. La armazón de madera y las estructuras mixtas de madera y hierro recubiertas de chapa batida a mano permanecieron como una característica de pequeñas series fabricadas en Europa y en Norteamérica.

En la actualidad, las carrocerías están en general constituidas por chapas de acero embutido, soldadas entre ellas y formando la envoltura que, atornillada al bastidor, proporciona al automóvil sus características aerodinámicas y el máximo de rigidez (o resistencia a las deformaciones). Convenientemente reforzada, la carrocería puede convertirse en el elemento estructural al cual se fijan directamente el motor y las suspensiones. Este tipo de carrocería, llamado *autoportante*, presenta tres ventajas sobre las carrocerías fijadas al bastidor. En primer lugar, permite economizar en el proceso de fabricación: la estructura que refuerza la carrocería se obtiene utilizando chapa cortada y doblada, las uniones se hacen mediante soldaduras por puntos, operaciones muy económicas tanto desde el punto de vista de la maquinaria empleada como de la energía necesaria y el grado de automatización que puede conseguirse. Otra ventaja nada desdeñable es el ahorro en el consumo de carburante, consecuencia de la posibilidad de reducir el peso de la carrocería. Por último, la carrocería autoportante facilita la realización de un automóvil más seguro en caso de accidente. Efectivamente, la estructura puede ser construida de forma que, en caso de colisión, las partes anterior y posterior sirvan para amortiguar el golpe. Así la parte central, destinada al habitáculo y constituida por una estructura más resistente, queda protegida.

Carrocería: elementos, materiales y pintura La carrocería del automóvil está formada por varios y diferentes elementos, unidos los unos a los otros, pudiéndose dividir en parte superior y parte inferior. La parte superior está compuesta por los elementos visibles del automóvil: las puertas, el capó, los flancos laterales, las aletas y el techo. La parte inferior la componen el vano para el motor, el piso, los montantes laterales que sostienen el techo (si lo hay) y el maletero. Para proteger la carrocería de los efectos corrosivos del



El bastidor del automóvil constituye una estructura resistente y ligera a la cual se fijan mecanismos pesados que producen grandes esfuerzos. En los automóviles de turismo estos esfuerzos son limitados; por lo tanto, el bastidor de este tipo de vehículos puede construirse de chapa embutida, formando parte de la carrocería. Se tiene así la ventaja de poderla construir conformando las piezas en prensas y soldándolas por puntos con la ayuda de robots (arriba, a la derecha). En el caso del automóvil de carreras, se recurre a una estructura de tubos de titanio cuya forma de celdas tetraédricas le confiere gran rigidez (arriba, a la izquierda). En este caso, el material y las soldaduras hacen elevadísimo el coste.

sol y de la lluvia se le dan varias manos de pintura acrílica o esmalte celulósico, en el curso de un proceso llamado *electroforesis*. Durante esta operación se suministra una carga electrostática a la pintura, mientras se mantiene la carrocería bajo una alta tensión eléctrica, de manera que la pintura pulverizada es atraída de una manera uniforme por la chapa y penetra en todos los rincones y rendijas de la carrocería. Entre una capa y otra de pintura, la carrocería pasa a través de hornos de secado; después de que la última capa de pintura se ha secado, la carrocería es montada sobre el bastidor con tornillos o, si es autoportante, es enviada a la cadena de montaje.

Bastidor El bastidor es la armazón metálica sobre la que se montan y relacionan todos los elementos del automóvil: la carrocería, el motor y la transmisión, por un lado, y la suspensión, por el otro. Está formado por dos largueros de notable espesor unidos mediante travesaños. Algunas veces los largueros, en su parte central, están unidos por dos barras cruzadas en forma de *X*, además de otras barras transversales. La anchura de los largueros laterales disminuye en las extremidades, donde se acoplan los puentes que sujetan las ruedas. La parte central de los largueros es de mayor grosor y constituye la zona más resistente del automóvil.

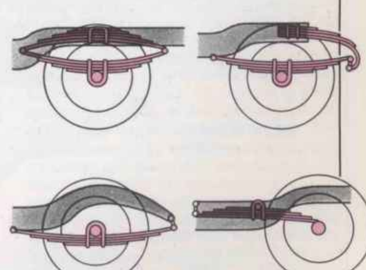
Suspensión La suspensión es el conjunto de órganos mecánicos que unen las ruedas a la estructura principal. Tiene la finalidad de absorber una parte de la energía desarrollada por los choques entre las ruedas y las irregularidades del firme de las carreteras. La suspensión en sentido estricto consta de una serie de órganos de gran elasticidad: los neumáticos, los muelles y los amortiguadores.

Véase **Amortiguador; Automóvil; Automóvil, seguridad; Automóvil de competición**

motor

suspensión delantera

travesaño del eje delantero



Las suspensiones son los mecanismos encargados de amortiguar los golpes que reciben las ruedas cuando recorren un terreno irregular. En el dibujo del centro podemos ver los puntos del bastidor en los cuales se fijan los órganos de conexión de las ruedas. Abajo, a la izquierda, vemos cómo se produce el movimiento vertical de la rueda a través de los dos brazos oscilantes y cómo un sistema de muelle y amortiguador hidráulico suaviza este movimiento; los dos topes cónicos de goma dura absorben los eventuales golpes de final de carrera. El sistema de la derecha es análogo y en parte está escondido en el travesaño anterior. Sobre estas líneas, en el extremo izquierdo de esta misma página, vemos dos tipos de amortiguadores; en la parte central, podemos contemplar un puente delantero con todos los detalles mecánicos, incluidos los frenos; finalmente, vemos en la ilustración de esta parte derecha, cuatro posibles disposiciones de las ballestas en la suspensión de un automóvil.

Automóvil, diferencial

Si han tenido ustedes ocasión de ver un espectáculo en el cual bailarines o patinadores componían una figura en forma de estrella, habrán notado que, para mantenerse alineados con los demás, los bailarines o patinadores situados en las extremidades de las puntas de la estrella debían moverse más rapidamente y recorrer un trayecto mayor que los que se encontraban más cerca del centro de la figura. De una forma análoga, cuando un automóvil toma una curva, las ruedas exteriores, al tener que hacer un mayor recorrido, deben girar más deprisa que las interiores y es por lo tanto necesario utilizar un mecanismo especial, llamado *diferencial*, que permite a las dos ruedas girar a velocidades angulares diferentes en caso de necesidad.

El diferencial, que pertenece al conjunto constituido por *motor, transmisión, puente* que genera la potencia y la transmite a las ruedas, está constituido por: dos piñones cónicos (*planetarios*), unidos a los extremos de los semiejes, y otros dos piñones cónicos (*satélites*) montados en los extremos de su eje portasatélites y que se engranan con los planetarios. En los automóviles de *tracción posterior*, en los que el motor está situado delante y el movimiento es transmitido a las ruedas posteriores, el diferencial está colocado en un cárter en forma de campana situado en el puente posterior, entre los semiejes. En los automóviles de *tracción delantera* la potencia del motor es transmitida a las ruedas delanteras, y el diferencial se encuentra entre los dos semiejes anteriores. En los automóviles de cuatro ruedas motrices el movimiento es transmitido a los dos pares de ruedas mediante dos diferenciales, delantero y trasero.

Cuando el automóvil marcha por un tramo rectilíneo, el movimiento debe ser transmitido a las ruedas motrices de una forma uniforme; si una rueda girara más deprisa o más despacio que la otra, el automóvil cambiaría de dirección. Cada rueda está montada sobre un *semieje*; los dos semiejes de una pareja de ruedas componen el *puente*. Si los automóviles circulasen siempre en línea recta, no sería necesario el empleo del diferencial y por tanto las dos ruedas podrían utilizar un mismo eje. Las locomotoras, por ejemplo, cuyo recorrido es rectilíneo o ligeramente curvo, no necesitan diferencial. Sin embargo, los automóviles han de poder indistintamente recorrer tramos rectilíneos y tomar curvas muy cerradas; por ello necesitan un diferencial que distribuya la potencia por igual entre las ruedas cuando el automóvil marche en línea recta y que transmita una potencia algo superior a la rueda exterior cuando el vehículo tome una curva, permitiendo al motor, que es su única fuente de energía, hacer girar las dos ruedas a velocidad *diferente*.

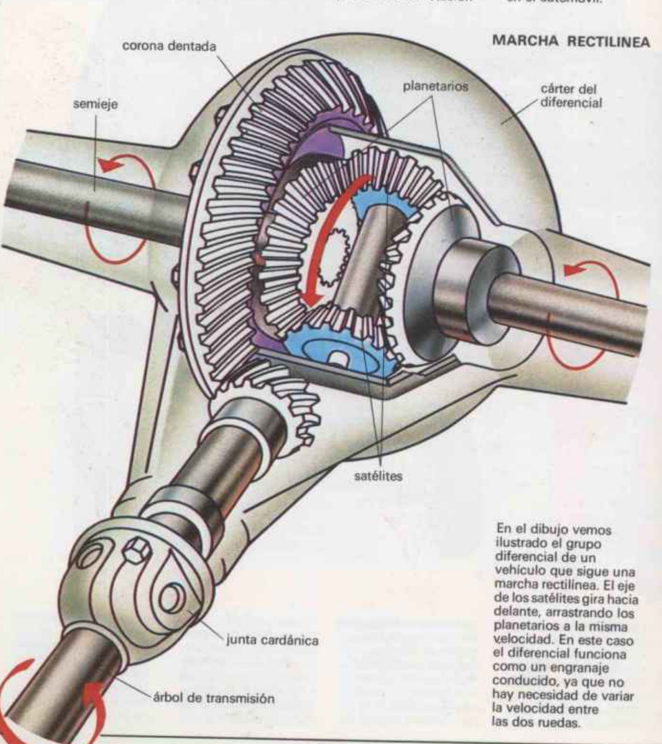
El diferencial posee una serie de *engranajes* dispuestos de una forma particular. Un engranaje es una especie de rueda que transmite el movimiento de un elemento a otro del automóvil. En un perímetro exterior el engranaje está provisto de *dientes* que engranan con los dientes de otro engranaje, de tal forma que cuando uno de estos engranajes gira pone en movimiento también al otro. Una de las funciones de los engranajes es transmitir el movimiento desde un eje conductor, conectado al motor, a uno conducido, que puede estar colocado paralela o perpendicularmente con respecto al primero. En este segundo caso los engranajes utilizados son cónicos.

En la marcha rectilínea la carga está distribuida uniformemente en las dos ruedas: el árbol de transmisión hace girar la caja del diferencial, y los satélites que están fijados en su interior, sin girar alrededor de su eje, ponen en movimiento los planetarios, que a su vez hacen girar a la misma velocidad las ruedas a las que están conectados. Cuando un automóvil toma una curva a la derecha, las ruedas interiores son frenadas por el suelo y giran algo más despacio; los satélites, que tienen mayor dificultad en hacer girar el planetario del semieje de la derecha que el de la izquierda, empiezan a girar alrededor de su eje impulsando a mayor velocidad el planetario y consecuentemente también la rueda de la izquierda.

Una variante del *diferencial convencional* está constituida por el *diferencial autoblocante*, que se instala opcionalmente en algunos de los últimos modelos de automóviles y que es fundamental para vehículos todo-terreno, para viajar sobre la nieve y el hielo o para tomar las curvas a muy alta velocidad, como en el caso de los automóviles de competición.

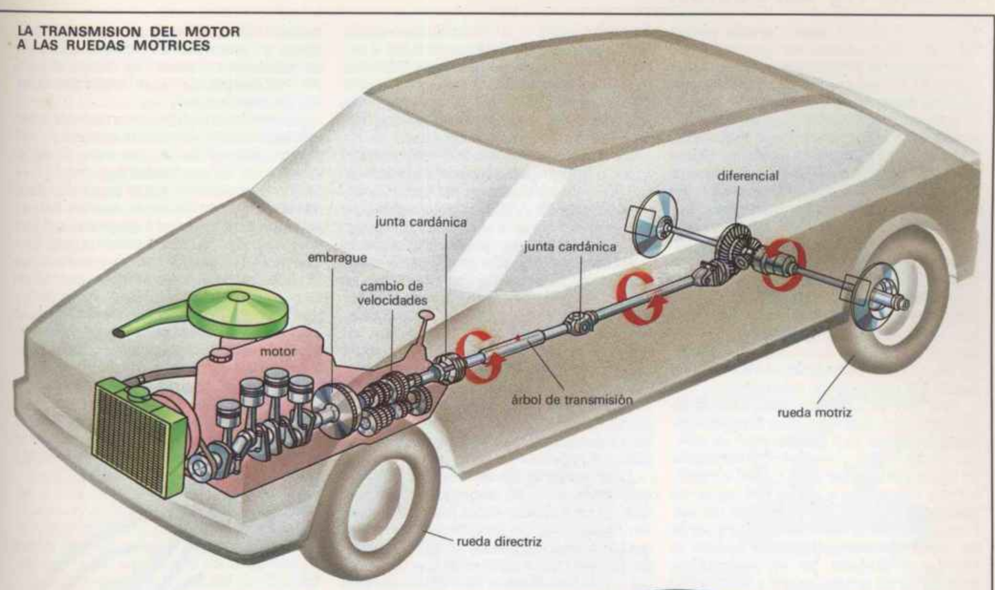
En un automóvil con diferencial convencional, cuando una rueda encuentra una superficie helada empieza a girar muy rápidamente y patina, de manera que la potencia transmitida por el motor se "descarga" en ella acelerando su rotación en

El diferencial está constituido por una serie de engranajes dispuestos de tal forma que permite a las dos ruedas motrices girar a velocidad distinta. Si el automóvil toma una curva a la derecha, las ruedas interiores, es decir, las de la derecha, deben girar más despacio que las exteriores, las de la izquierda, y los satélites, que encuentran mayor dificultad en mover los planetarios de los semiejes de la derecha, empiezan a rotar alrededor de su eje haciendo girar los planetarios de la izquierda a una velocidad ligeramente superior. De esta forma provocan una rotación más rápida del semieje y de la rueda motriz de la izquierda. En el dibujo superior de la página siguiente puede apreciarse la colocación del diferencial en el automóvil.



En el dibujo vemos ilustrado el grupo diferencial de un vehículo que sigue una marcha rectilínea. El eje de los satélites gira hacia delante, arrastrando los planetarios a la misma velocidad. En este caso el diferencial funciona como un engranaje conducido, ya que no hay necesidad de variar la velocidad entre las dos ruedas.

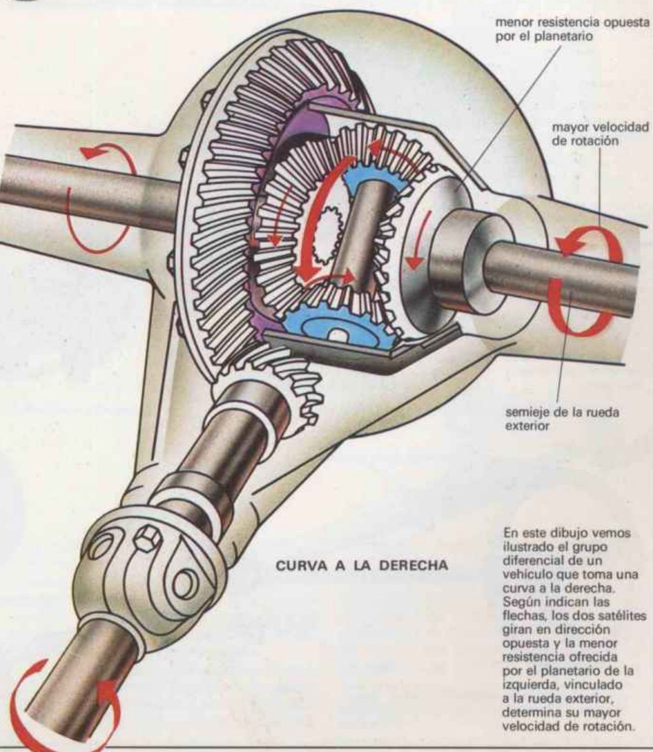
LA TRANSMISION DEL MOTOR A LAS RUEDAS MOTRICES



perjuicio de la otra rueda, que, aunque se mantiene en contacto con el suelo, está parada. Para evitar este problema se dota al automóvil de un diferencial autoblocante, compuesto por un diferencial normal en el que se instalan dispositivos de bloqueo cerca de cada planetario. En las curvas la variación de velocidad de las ruedas es gradual y el dispositivo de bloqueo no actúa. Sin embargo, cuando el automóvil se mueve sobre un terreno helado o embarrado y una rueda empieza a girar de repente en vacío a una velocidad mucho mayor, el dispositivo bloquea el planetario correspondiente a dicha rueda impidiéndole su giro vertiginoso y suministrando la potencia a la otra.

El diferencial es una de las partes más seguras del automóvil y apenas ocasiona problemas, ya que se rompe raramente y necesita poco mantenimiento. Sin embargo, como todos los grupos constituidos por engranajes, debe estar constantemente bien lubricado, siendo necesario controlar periódicamente el nivel de aceite del puente. En el cárter del diferencial hay dos tapones: uno para el llenado del aceite y control de su nivel y otro para su descarga. Para comprobar el nivel del aceite hay que desmontar el correspondiente tapón e introducir el dedo en el taladro para ver si el nivel de aceite es suficiente. En la mayoría de los casos no es necesario descargar el aceite del diferencial, pero esta operación se hace imprescindible cuando se tiene la sospecha de que ha penetrado agua en el cárter.

Véase **Automóvil, enbrague y caja de cambios**



En este dibujo vemos ilustrado el grupo diferencial de un vehículo que toma una curva a la derecha. Según indican las flechas, los dos satélites giran en dirección opuesta y la menor resistencia ofrecida por el planetario de la izquierda, vinculado a la rueda exterior, determina su mayor velocidad de rotación.

Automóvil, dirección

Una tonelada de acero lanzada a más de 100 kilómetros por hora tiene una gran tendencia a continuar rodando en línea recta (inercia), y no es tarea fácil dotarla de un sistema de dirección que la transforme en un vehículo controlable. No basta con colocar este cuerpo sobre cuatro ruedas y encontrar la forma de orientar las delanteras hacia la derecha o hacia la izquierda. Este sistema, aun con un mando resistente, sólo nos permitiría controlar el vehículo a baja velocidad, con gran tendencia a derrapar. Los neumáticos de las ruedas se consumirían rápidamente, ya que en las curvas se verían forzados a patinar sobre el asfalto, convirtiendo en muy peligroso un vehículo de este tipo. Hay que tener en cuenta, igualmente, que los golpes que reciben las ruedas a causa de los baches se transmitirían al volante, fatigando enormemente al conductor.

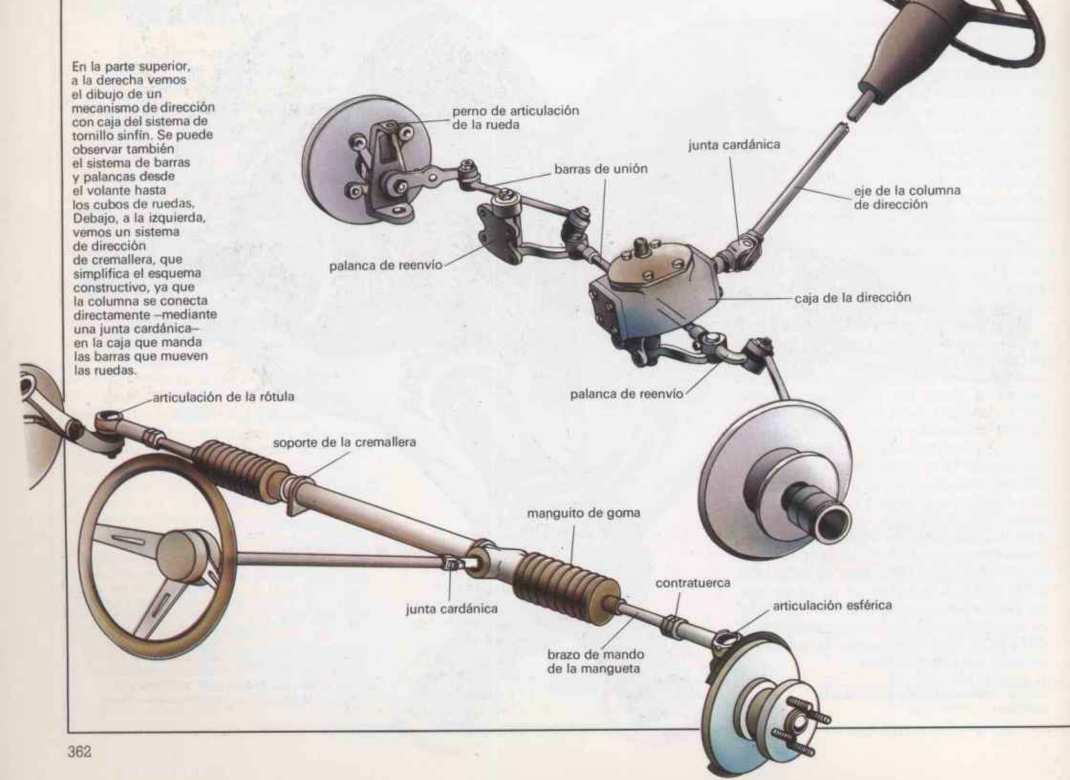
Para que un vehículo resulte eficaz se requiere algo más que unas simples ruedas orientables: hay que adoptar un *sistema de dirección* y *suspensión* estudiado en todos sus detalles para que el automóvil sea manejable y seguro y capaz de transformar el giro del volante en un movimiento hacia la derecha o la izquierda de las ruedas anteriores. Para reducir al mínimo el desgaste de los neumáticos, además de un retorno suave y automático de la dirección a la posición de marcha rectilínea y una perfecta estabilidad y seguridad de maniobra del vehículo, las dos ruedas anteriores deben estar dispuestas ligeramente inclinadas y convergentes entre sí, y respetar una serie de ángulos de disposición de su eje de giro.

La unión entre las ruedas y el bastidor, único punto de contacto entre la carretera y el vehículo, tiene lugar en el *perno de articulación*. Antiguamente existía un sistema parecido a la bisagra de una puerta, en el cual un gran perno atravesaba la mangueta de la rueda y el puente anterior. En los automóviles modernos se ha sustituido dicho perno por unas fuertes *rótulas* que permiten orientar las ruedas anteriores en la posición más oportuna, así como el movimiento hacia arriba y abajo de la suspensión. El ángulo de inclinación de la recta que pasa entre las dos rótulas según los distintos planos, así como la inclinación de la rueda son los responsables de obtener una buena adherencia y una dirección eficaz.

Efectivamente, las ruedas anteriores no están dispuestas en posición vertical sino que, generalmente, vistas por delante, están ligeramente inclinadas y convergentes hacia abajo, formando un *ángulo de caída positivo*. Si la convergencia fuera hacia arriba, tendríamos un *ángulo de caída negativo*. Normalmente se adopta un pequeño ángulo de caída positivo inferior a un grado para obtener una dirección suave y amortiguar las reacciones provocadas por los baches.

Las ruedas anteriores son también ligeramente convergentes en el sentido del movimiento, es decir, que entre la parte anterior de las dos ruedas hay menos distancia que entre la parte posterior. Esta *convergencia de las ruedas* es muy útil para compensar el efecto negativo del ángulo de caída, que produce una leve tendencia al deslizamiento de los neumáticos hacia el exterior del vehículo cuando se encuentra en movimiento. Inclinando las ruedas anteriores hacia el interior solamente de tres a seis milímetros, se puede eliminar este inconveniente facilitando la conducción.

También el eje de giro de la articulación de la rueda está inclinado. Podría parecer lógico colocar el eje de giro completamente perpendicular, como la bisagra de una puerta, de forma que pueda gi-



En la parte superior, a la derecha vemos el dibujo de un mecanismo de dirección con caja del sistema de tornillo sinfín. Se puede observar también el sistema de barras y palancas desde el volante hasta los cubos de ruedas. Debajo, a la izquierda, vemos un sistema de dirección de cremallera, que simplifica el esquema constructivo, ya que la columna se conecta directamente –mediante una junta cardánica– en la caja que manda las barras que mueven las ruedas.

rar más o menos alrededor del mismo punto que toca el suelo. En realidad, el eje de articulación se encuentra ligeramente inclinado hacia la parte posterior del vehículo, de forma que el eje teórico de rotación cae un poco más adelante del punto de contacto de la rueda con el suelo. Esta disposición se define como *ángulo de avance positivo*, mientras que la posición contraria da un ángulo de avance negativo. Las ruedas autoorientables montadas en los carritos de los supermercados son un ejemplo típico de un ángulo de avance positivo, ya que el eje de giro de su articulación cae delante de la rueda. Cuando se empuja el carrito hacia adelante, aunque sea suavemente, las ruedas vuelven a una posición paralela a la dirección de marcha y no obstaculizan el movimiento. Un efecto parecido lo produce el ángulo de avance positivo en los automóviles, contribuyendo a realinear las ruedas después de una curva, manteniéndolas en esta posición aunque el conductor se distraiga momentáneamente.

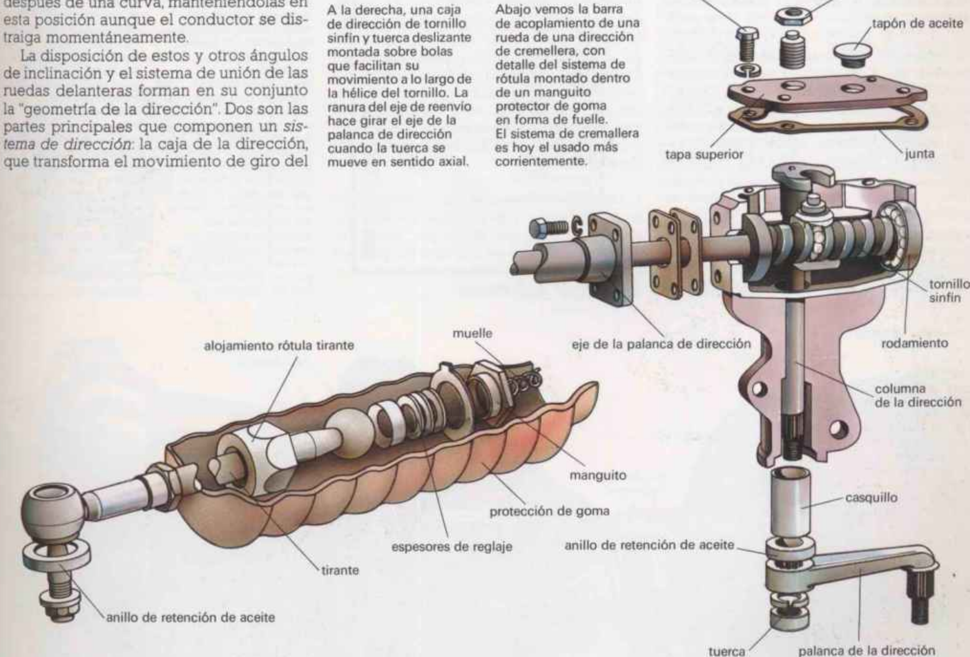
La disposición de estos y otros ángulos de inclinación y el sistema de unión de las ruedas delanteras forman en su conjunto la "geometría de la dirección". Dos son las partes principales que componen un *sistema de dirección*: la caja de la dirección, que transforma el movimiento de giro del volante en movimiento horizontal, y el sistema de barras de acoplamiento y palancas que transfiere este movimiento a las ruedas.

Casi todos los automóviles americanos llevan en la *caja de la dirección* un conjunto de engranajes del tipo tornillo sinfín y rueda helicoidal y una palanca que manda las barras de acoplamiento; algunos fabricantes europeos utilizan, sin embargo, un sistema de piñón y cremallera. Un engranaje es una rueda en cuya circunferencia se entallan unos dientes que permiten transmitir con gran precisión el movimiento de un eje a otro de una máquina. En un engranaje de tornillo sinfín los dientes asumen la forma de una espiral alrededor del eje central. Este engraneje se conecta a una extremidad de la columna de la dirección mandada por el volante.

Cuando giramos el volante de la dirección, el tornillo sinfín pone en movimiento —a través de la rueda helicoidal— la palanca de la dirección, que, mediante unas barras de unión, hace girar las palancas de acoplamiento unidas a los ejes de las ruedas llamados *manguetas*.

En el sistema por cremallera, un piñón —pequeña rueda dentada— montado en la extremidad de la columna pone en movimiento una barra dentada recta llamada *cremallera*. Cuando el piñón gira hacia la derecha o la izquierda, la cremallera se desplaza lateralmente, tirando de o empujando las barras de acoplamiento.

En los automóviles de grandes dimensiones y mayor peso puede ser necesaria una fuerza considerable para maniobrar el volante; en este caso el conductor se ayuda con una *servodirección*: cuando el conductor gira el volante, una válvula introduce el aceite a alta presión en una cara u otra de un émbolo situado en un cilindro. La presión del aceite —*fluido de la servodirección*, mantenido a presión por una bomba accionada por el motor mediante una correa— empuja el émbolo hacia un lado u otro, ayudando al conductor a girar las ruedas anteriores. De esta forma, la servodirección reduce notablemente el esfuerzo necesario para girar la dirección y amortigua los contragolpes debidos a las irregularidades del terreno. Es, sin embargo, desaconsejable eliminar completamente los esfuerzos, siendo preferible que el sistema ofrezca una cierta resistencia y transmita, aunque sea en mínima parte, las reacciones de las ruedas debidas a baches o derrapes. Un conductor experto percibe a través del volante la necesidad de aumentar el giro —para compensar el viento, por ejemplo— y se da cuenta del deslizamiento, o de si un neumático está gastado o mal equilibrado.



A la derecha, una caja de dirección de tornillo sinfín y tuerca deslizante montada sobre bolas que facilitan su movimiento a lo largo de la hélice del tornillo. La ranura del eje de reenvío hace girar el eje de la palanca de dirección cuando la tuerca se mueve en sentido axial.

Abajo vemos la barra de acoplamiento de una rueda de una dirección de cremallera, con detalle del sistema de rótula montado dentro de un manguito protector de goma en forma de fuelle. El sistema de cremallera es hoy el usado más corrientemente.

Véase **Automóvil; Automóvil, carrocería y suspensión; Automóvil, seguridad; Automóvil de competición**

Automóvil, embrague y caja de cambios

Imaginemos un automóvil cuyo motor esté conectado directamente a las ruedas. Al encender el motor, el vehículo arrancará inmediatamente; para detenerle habrá que apagar el motor. Sería además necesario conducir a una velocidad de 720 km/h o más: la velocidad a la cual marcharía el automóvil si las ruedas giraran al mismo número de revoluciones que el motor. Por eso existe un dispositivo capaz de acoplar el motor y el mecanismo de transmisión: el embrague. El embrague, además de permitir un arranque gradual y suave del vehículo, hace posible la interrupción de la unión entre el cambio y el motor en el momento de pasar de una velocidad a otra. Aunque el embrague utilizado en el automóvil es del tipo más difundido, este mecanismo es un elemento esencial en las segadoras de jardín, en los útiles motorizados y en los demás tipos de maquinaria en los que la parada y la puesta en marcha se efectúan sin detener el motor.

Embrague El trabajo más difícil desarrollado por el embrague es el del arranque. En efecto, es necesario unir un *árbol motor* o *cigüeñal* que gira por encima de 2.000 r.p.m. con uno de transmisión que está parado. Cuando se quiere poner en movimiento el vehículo, el árbol motor es acoplado al *árbol de transmisión*, obligándole a girar. A través de este árbol de transmisión el movimiento pasa a todas las partes móviles del vehículo. Cuando se desconecta el árbol motor del árbol de transmisión, deja de comunicarse la rotación, aunque el motor continúe funcionando (en una modalidad que se denomina *punto muerto*).

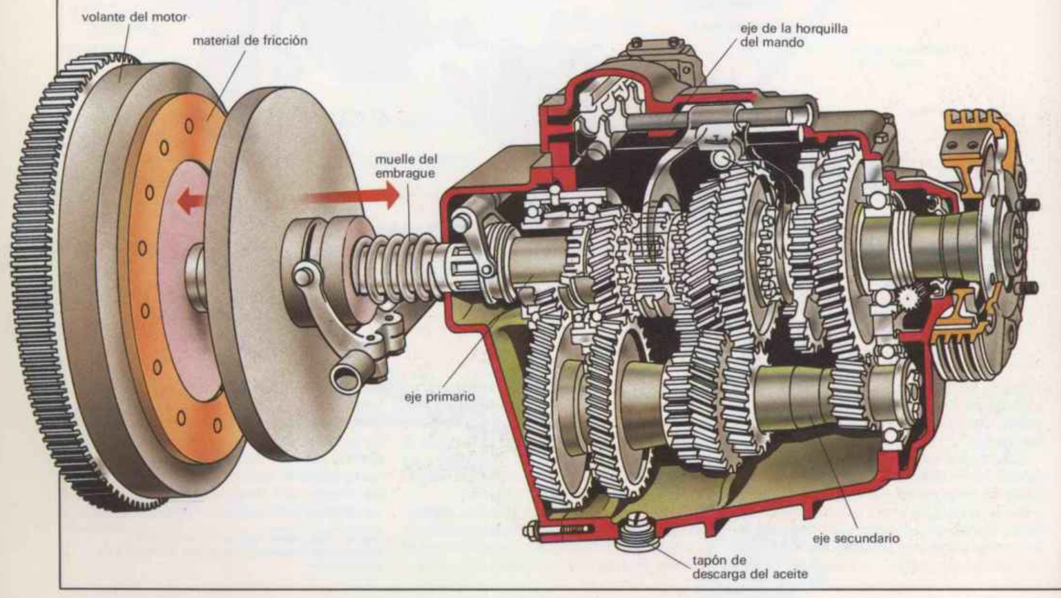
Existe un tipo de embrague que consiste en una correa trapezoidal montada sobre una polea del cigüeñal, así como sobre otra polea del árbol de transmisión. Cuando el motor gira en punto muerto, la polea del cigüeñal gira sin arrastrar la correa. Cuando se desembraga con el pedal correspondiente, o se encuentra la velocidad de rotación en los sistemas automáticos, los elementos mecánicos que componen esta polea son empujados hacia el exterior, entrando en contacto con la correa y poniéndola en rotación juntamente con el árbol de transmisión.

El tipo de embrague más usado en los automóviles es el denominado *de disco*, llamado así por estar constituido por unos discos conectados a las extremidades de los dos árboles (motor y de transmisión). Moviendo una palanca (en el caso del automóvil, se acciona por medio del pedal del embrague), se oprime el disco que gira con el árbol motor contra el disco unido al árbol de la transmisión (disco del embrague), haciéndolos girar juntos. Pisando el pedal del embrague, los dos discos se desacoplan; cuando se levanta el pie del pedal, son comprimidos el uno contra el otro acoplando el motor a la transmisión.

Cambio de velocidades La posibilidad de acoplar y desacoplar el motor no sería de mucha utilidad si por medio de varias parejas de engranajes no pudiera regularse el número de revoluciones que se transmite a las ruedas.

El engranaje es un mecanismo, generalmente en forma de disco, utilizado para transmitir el movimiento de un eje a otro de una máquina mediante dientes que engranan entre sí. Cuando se utilizan engranajes de diferente diámetro, éstos giran a revoluciones distintas. Combinando los engranajes según diversos esquemas —colocación denominada *tren de engranaje*—, es posible aumentar o reducir el número de revoluciones del eje conducido con respecto al eje conductor. El cam-

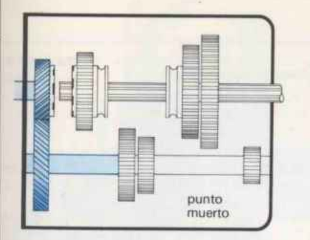
Abajo vemos dibujado el conjunto embrague-caja de velocidades. A la izquierda está el embrague y a la derecha el cambio. El embrague está constituido por un gran disco con un dentado en su corona exterior (a la izquierda), que es el volante del motor, y otro desde el cual parten las flechas que indican su posibilidad de desplazarse hacia la izquierda para acoplarse al primero. A su derecha vemos el mecanismo que sirve para desembragar y efectuar la maniobra del cambio. El disco de la derecha está acoplado al árbol del cambio, que, cuando los dos discos son apretados entre sí, es movido por el motor. En la parte superior de la caja de los engranajes hay un pequeño eje paralelo a los que transmiten el movimiento y conectado a una horquilla que sirve para desplazar los engranajes y conseguir que engranen entre sí proporcionando la deseada relación de transmisión. Los dientes de los engranajes del cambio son helicoidales (es decir, inclinados con respecto a la generatriz del disco) y sus bordes están redondeados para no producir ruido o rechazos cuando engranan. La fabricación de los dientes de los engranajes es muy cuidada para que sean de gran duración. Los ejes del cambio están soportados por rodamientos de bolas y todo el mecanismo está sumergido en aceite denso para mantenerse en continua lubrificación.

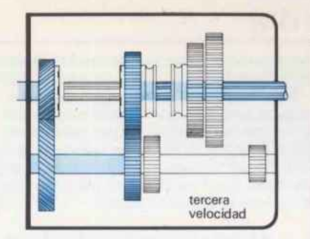


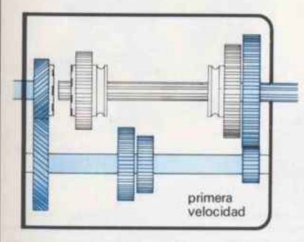
bio está constituido por una caja que contiene un tren de engranaje.

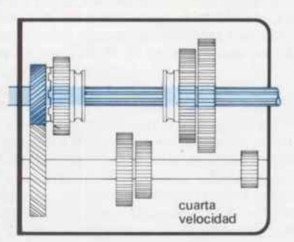
La moderna transmisión automática, aplicada a los automóviles norteamericanos y cada vez más utilizada en los de producción europea, está constituida por un embrague y un cambio de velocidades mandados electromagnéticamente o por medio de un mecanismo hidráulico.

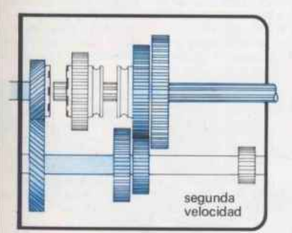
Véase **Automóvil, diferencial; Engranaje; Transmisión hidráulica**

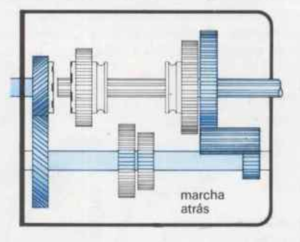












En los seis esquemas de la izquierda vemos las posiciones en que engranan las ruedas dentadas del cambio para obtener las distintas marchas de un mecanismo de cuatro velocidades. En el primero de la izquierda, el cambio se encuentra en punto muerto. Nótese que el árbol superior está dividido en dos partes: la de la izquierda, que recibe el par motor, y la de la derecha, que es el conducido. El movimiento se transmite desde el primer al segundo tramo del árbol superior a través de una pareja de engranajes de toma continua y de otra seleccionada entre las diferentes parejas de engranajes mediante la palanca del cambio. Si ninguna pareja está engranada, tenemos el punto muerto. En el segundo esquema aparecen engranadas las ruedas dentadas que dan la máxima reducción, es decir, la primera velocidad. En el tercero vemos el cambio en segunda velocidad. En la columna de la derecha, de arriba abajo, vemos la tercera y cuarta velocidades; en esta última se conecta directamente la primera parte del eje con la segunda. Finalmente, la marcha atrás, en la cual se utiliza otro engranaje intermedio, que invierte el sentido de giro. En la figura de abajo se representa un cambio automático de tres velocidades. Este tipo de cambio de velocidades no sólo tiene la ventaja de efectuar los cambios por sí mismo, sino que escoge también el régimen adecuado para efectuar el cambio y establecer la marcha más idónea en cada momento.

Automóvil, encendido del

El circuito de arranque y encendido en un automóvil moderno tiene una doble finalidad: en primer lugar, utilizar la pequeña cantidad de energía suministrada por la batería para "arrancar" el motor, y en segundo, mantener el motor en movimiento después de que ha arrancado. La energía suministrada por las explosiones en el interior del motor hace girar el *cigüeñal*. Cuando éste está en rotación y se conecta el cambio de velocidades, giran también las ruedas y consiguientemente el automóvil se pone en movimiento.

Girando la llave de la puesta en marcha, se cierra el circuito entre la batería —que es el elemento que suministra la energía eléctrica— y los dos elementos de la instalación eléctrica que intervienen en el proceso de hacer avanzar el automóvil, que son el *motor de arranque* y el *circuito de encendido*.

El motor de arranque Es un pequeño motor eléctrico conectado por medio de un engranaje a la corona del *volante*, que está situada en una extremidad del cigüeñal. Al girar la llave de la puesta en marcha, se pone en movimiento el motor de arranque, que en su rotación arrastra el volante y los elementos móviles del motor, permitiendo el arranque de éste por medio del circuito de encendido.

La bobina El débil impulso eléctrico generado por la batería pasa en primer lugar por la *bobina de encendido*, constituida por dos espirales de hilos de cobre situadas una en el interior de la otra. La espiral exterior recibe el nombre de *arrollamiento primario*, y la interior, *arrollamiento secundario*. Las dos espirales están separadas generalmente por una capa de grasa aislante.

La corriente suministrada por la batería pasa a través del arrollamiento exterior (o primario) y genera un campo magnético en el exterior de la bobina. A continuación, la corriente pasa a través del *interruptor*, llamado generalmente "contacto" o "platinos", que está alojado en el interior de un elemento plástico llamado *cuerpo del distribuidor*.

Contacto y leva En el interior del cuerpo del distribuidor hay una *leva* de cuatro, seis u ocho lados. La forma cuadrangular, hexagonal u octogonal de la leva depende del número de cilindros del motor, que será de cuatro, seis u ocho, respectivamente.

La leva alojada en el fondo del cuerpo del distribuidor está atravesada en el centro por un eje que, a su vez, está conectado por medio de engranajes al eje de levas del motor. Cuando se gira la llave de la puesta en marcha, se pone en funcionamiento el motor de arranque, que hace girar todos los elementos móviles del motor y en particular el eje de levas conectado a la leva del distribuidor.

Cerca de la leva está el interruptor, formado por los dos elementos que permiten el contacto eléctrico (*platinos*). Cuando la leva gira, sus partes sobresalientes —las esquinas del cuadrángulo, del hexágono o del octógono— presionan sobre el interruptor abriéndolo, según una secuencia que se repite cada vez que pasa una esquina de la leva. El abrirse y cerrarse del interruptor produce una intermitencia en la corriente que lo cruza.

La inducción Cuando un campo magnético cambia de intensidad, se crea una corriente eléctrica en un hilo conductor que se encuentre en el interior del campo. Así, cuando la leva interrumpe el paso de la corriente, abriendo el circuito, se genera una corriente inducida cuyos impulsos están ligados al movimiento de la leva.

Casi todas las baterías de los automóviles tienen una tensión de 6 ó 12 voltios, pero gracias a la bobina de inducción dicha tensión puede elevarse hasta alcanzar 20.000 voltios aproximadamente. Este aumento es debido al hecho de que el valor de la corriente inducida es proporcional a la longitud del arrollamiento situado en el interior del campo magnético. Cuanto más largo es el arrollamiento, mayor es la tensión. Como el arrollamiento interior o secundario está constituido por un hilo mucho más largo del que forma el exterior o primario, la tensión puede llegar a niveles muy altos.

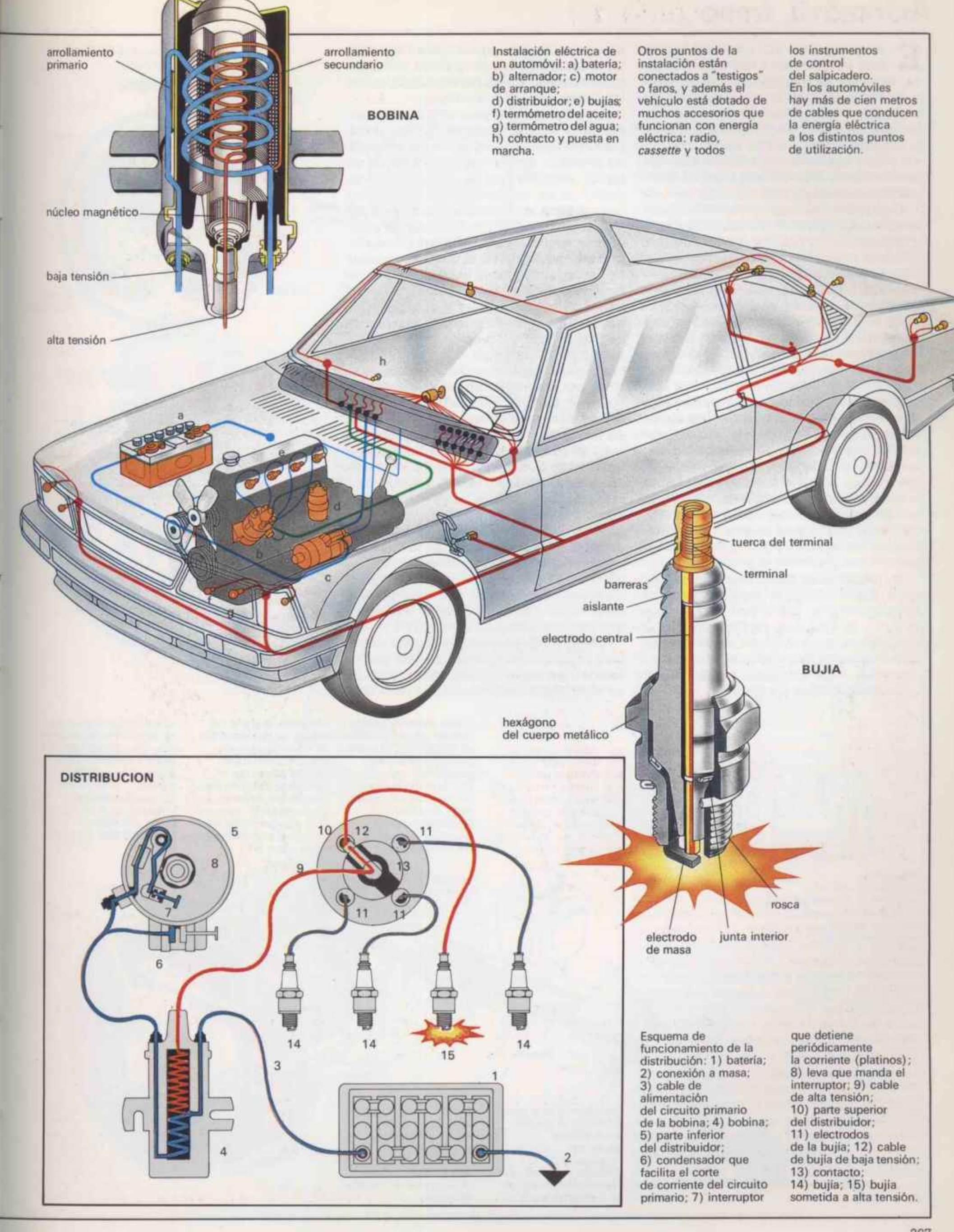
La distribución Los potentes impulsos de corriente de 20.000 voltios pasan desde el arrollamiento secundario al *contacto rotatorio del distribuidor*. El contacto del rotor, dispuesto en la parte superior del distribuidor, alcanza y roza los contactos eléctricos dispuestos a intervalos regulares en el interior de la tapa del distribuidor. Cada uno de dichos *contactos* está conectado a su vez a la *bujía* de un cilindro.

El movimiento del motor sirve también para hacer funcionar un pequeño *generador* (dinamo o alternador) que está produciendo continuamente energía eléctrica para cargar la batería del automóvil y que conserva constante el flujo de la corriente.

El distribuidor es el dispositivo que hace llegar al circuito primario de la bobina la corriente de baja tensión en el momento oportuno para que se produzca la alta tensión, que, distribuida por el contacto giratorio, llega a través del cable conductor a la bujía del cilindro en la fase de explosión del motor.

La batería es la fuente de energía eléctrica que hace funcionar el vehículo. Nos permite arrancar el motor suministrando la potencia necesaria al motor de arranque. Además, en cuanto el motor está en marcha, la energía eléctrica es suministrada por un alternador en forma de corriente alterna que se rectifica y se utiliza en la instalación eléctrica del vehículo; así, la batería, que la emplea para cargarse, mantiene constante su nivel a pesar de las fluctuaciones debidas al régimen del motor.

Véase **Acumulador; Bobina eléctrica**



Instalación eléctrica de un automóvil: a) batería; b) alternador; c) motor de arranque; d) distribuidor; e) bujías; f) termómetro del aceite; g) termómetro del agua; h) contacto y puesta en marcha.

Otros puntos de la instalación están conectados a "testigos" o faros, y además el vehículo está dotado de muchos accesorios que funcionan con energía eléctrica: radio, *cassette* y todos los instrumentos de control del salpicadero. En los automóviles hay más de cien metros de cables que conducen la energía eléctrica a los distintos puntos de utilización.

Esquema de funcionamiento de la distribución: 1) batería; 2) conexión a masa; 3) cable de alimentación del circuito primario de la bobina; 4) bobina; 5) parte inferior del distribuidor; 6) condensador que facilita el corte de corriente del circuito primario; 7) interruptor que detiene periódicamente la corriente (platinos); 8) leva que manda el interruptor; 9) cable de alta tensión; 10) parte superior del distribuidor; 11) electrodos de la bujía; 12) cable de bujía de baja tensión; 13) contacto; 14) bujía; 15) bujía sometida a alta tensión.

Automóvil, freno

El *sistema de frenado* transmite la presión del pie sobre el pedal al freno de cada rueda mediante un *circuito hidráulico* encargado de que los forros de rozamiento o "pastillas" presionen sobre los tambores o los discos. Este sistema está construido de tal forma que la presión del pie se transmita instantáneamente a la rueda con el objeto de limitar, parar o impedir el movimiento del vehículo.

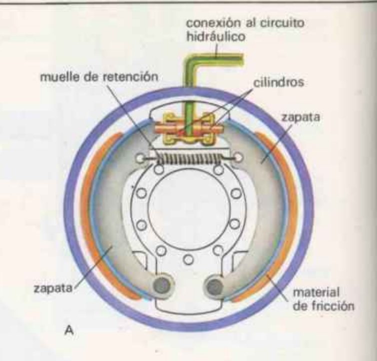
Casi todos los automóviles están dotados de un sistema de frenado hidráulico que transmite la presión del pedal a los frenos mediante unos tubos llenos de un líquido especial. El funcionamiento de los circuitos hidráulicos está basado en el principio de la incompresibilidad de los líquidos. Es evidente que si ejercemos una fuerza de 5 kg sobre un émbolo situado en la extremidad de un tubo que contiene agua o cualquier otro líquido, y si en la extremidad opuesta del tubo hay otro émbolo del mismo diámetro, este último se mueve y desarrolla una fuerza de 5 kg. La columna de agua no se comprime y por lo tanto no absorbe ninguna fuerza que actúe sobre ella. Un tubo conteniendo el líquido de un circuito hidráulico puede ser doblado y seguir transmitiendo la misma presión. Los circuitos de frenos están constituidos por tubos de acero que transmiten a las ruedas la presión producida al pisar con el pie sobre el pedal.

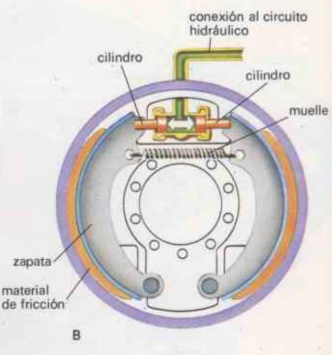
En los circuitos mencionados es necesario utilizar un líquido especial, llamado *líquido de frenos*. Este líquido debe tener un punto de ebullición muy alto, ya que la temperatura producida por el rozamiento de los frenos es muy elevada y en los circuitos no debe formarse nunca vapor; además, el punto de congelación debe ser bajo para impedir que se hiele. Finalmente, el líquido de frenos no debe corroer ni oxidar los tubos o las partes metálicas con las cuales está en contacto.

Los circuitos conectan el pedal con los frenos de las cuatro ruedas; tanto el pedal como los frenos disponen de un conjunto de *émbolos* y *cilindros*. El émbolo es un rodillo metálico que puede desplazarse dentro de un tubo hueco llamado *cilindro*. Los cilindros, así como la tubería que los une, contienen líquido de frenos. El cilindro conectado al pedal se llama *bomba hidráulica*, y los que están colocados en los frenos de las ruedas se llaman *cilindros de frenos*; estos últimos ejecutan las órdenes transmitidas por la bomba hidráulica. El pedal no actúa directamente sobre la bomba: lo hace a través de un sistema de palancas que aumenta la fuerza ejercida por el pie; al pisar el pedal, el émbolo produce una presión sobre el líquido de frenos que, a través del circuito hidráulico, se transmite a los émbolos de los cilindros de las ruedas, accionando así los frenos.

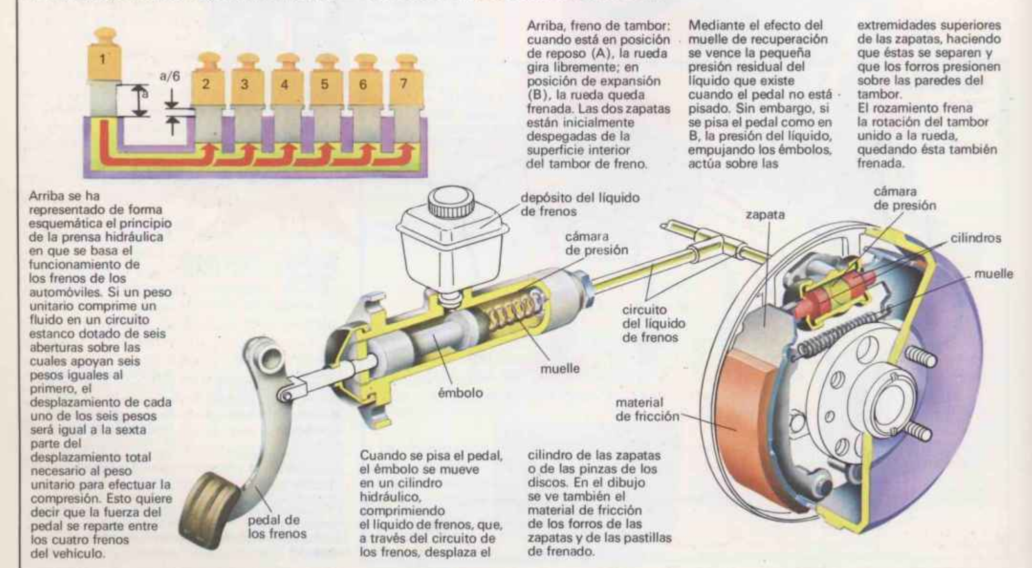
La forma en que actúan los frenos de las ruedas, accionados por los cilindros, depende del mecanismo de frenado utilizado. En los *frenos de tambor*, los émbolos de los cilindros hacen presionar unas zapatas contra los tambores; en los *frenos de disco*, los émbolos actúan sobre unas pastillas que frenan el disco como si se tratara de mordazas. En ambos casos, el rozamiento producido por esta presión desacelera y frena el tambor o el disco, que está conectado a las ruedas.

Cuando un automóvil se mueve, dispone de una energía llamada *cinética* que los frenos absorben y transforman en calor. En un vehículo se desarrolla calor tanto cuan-



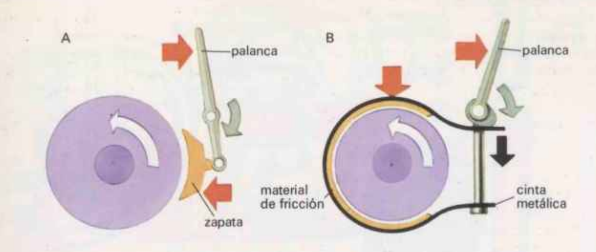


Arriba, freno de tambor: cuando está en posición de reposo (A), la rueda gira libremente; en posición de expansión (B), la rueda queda frenada. Las dos zapatas están inicialmente despegadas de la superficie interior del tambor de freno. Mediante el efecto del muelle de recuperación se vence la pequeña presión residual del líquido que existe cuando el pedal no está pisado. Sin embargo, si se pisa el pedal como en B, la presión del líquido, empujando los émbolos, actúa sobre las extremidades superiores de las zapatas, haciendo que éstas se separen y que los forros presionen sobre las paredes del tambor. El rozamiento frena la rotación del tambor unido a la rueda, quedando ésta también frenada.

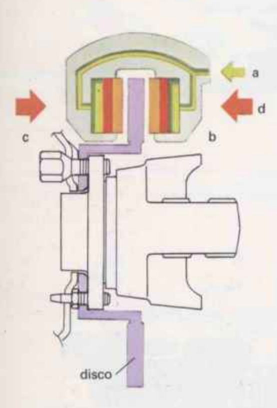


Arriba se ha representado de forma esquemática el principio de la prensa hidráulica en que se basa el funcionamiento de los frenos de los automóviles. Si un peso unitario comprime un fluido en un circuito estanco dotado de seis aberturas sobre las cuales apoyan seis pesos iguales al primero, el desplazamiento de cada uno de los seis pesos será igual a la sexta parte del desplazamiento total necesario al peso unitario para efectuar la compresión. Esto quiere decir que la fuerza del pedal se reparte entre los cuatro frenos del vehículo.

Cuando se pisa el pedal, el émbolo se mueve en un cilindro hidráulico, comprimiendo el líquido de frenos, que, a través del circuito de los frenos, desplaza el cilindro de las zapatas o de las pinzas de los discos. En el dibujo se ve también el material de fricción de los forros de las zapatas y de las pastillas de frenado.



Dos ejemplos de frenos mecánicos de diferente tipo al utilizado en los automóviles. En A vemos el freno de zapata simple accionado por una palanca y que está situado exteriormente a la rueda o a su eje. Cuando se utiliza en los ferrocarriles, la zapata acciona sobre el exterior de la rueda y no necesita de forro alguno. En B vemos un freno de cinta: una cinta metálica, sencilla o con forro en su cara interior, es tensada de forma que pueda apretar el eje rotatorio, frenándolo.



Arriba, principio del freno de disco en una vista en sección longitudinal. Los distintos elementos son: a) fluido bajo presión; b) émbolos del freno; c) pastillas; d) empuje que produce el frenado.

do arranca y rueda como cuando se detiene: en el primer caso el calor se produce en el motor cuando se genera la energía para mover el vehículo; en el segundo, en los frenos cuando absorben la energía para inmovilizar las ruedas. Los forros de las zapatas y las pastillas son generalmente de amianto, muy resistente al calor.

En los automóviles dotados de frenos de tambor, las ruedas se montan sobre unos tambores de fundición que giran con éstas; en su interior se encuentran dos elementos semicirculares, llamados *zapatas*, una de cuyas extremidades gira alrededor de un eje conectado a un soporte fijo, mientras la otra es empujada por el émbolo del cilindro. Pisando el pedal de freno, el émbolo empuja las zapatas contra el tambor, que gira unido sólidamente con la rueda, frenándolo e inmovilizando la rueda.

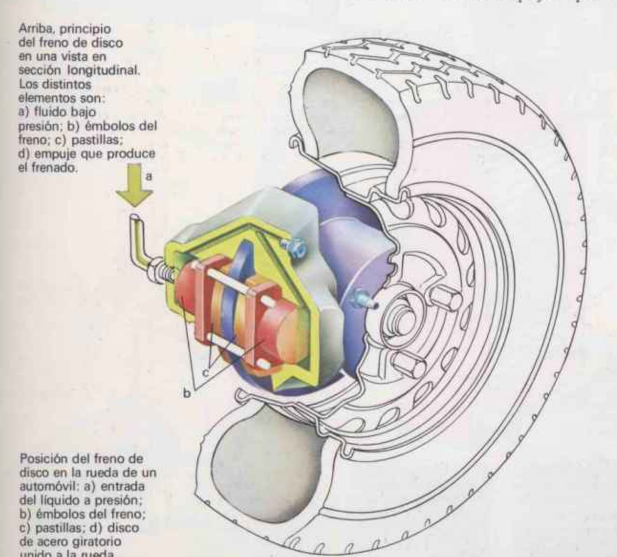
El rozamiento no sólo produce calor, sino también desgaste, de forma que los forros de freno de los automóviles se desgastan y su espesor va disminuyendo cada vez más. En este caso los émbolos deben recorrer una mayor distancia para empujar las zapatas contra el tambor, debiendo pisar por consiguiente más a fondo el pedal; para evitar este inconveniente es necesario realizar periódicamente un reglaje de frenos. Esto debe hacerse sin esperar a que los forros estén desgastados casi por completo, pues con el desgaste van perdiendo la capacidad de dispersar el calor, reduciendo su eficacia y aumentando peligrosamente el espacio de frenado. En este caso se produce una clara disminución de eficacia de los frenos, debido al recalentamiento. También el agua que entra en el tambor cuando se pasa por charcos, o que se forma por condensación durante la noche, puede disminuir la eficacia de los frenos; la película viscosa que se forma entre los forros y el tambor desminuye el rozamiento.

En los frenos de disco, la rueda, en lugar de estar unida a un tambor, lo está a un disco plano de acero que gira con ella; los émbolos de los cilindros, en vez de empujar las zapatas contra el tambor, accionan sobre un dispositivo llamado *pinza*, en el cual se montan las pastillas que amordazan el disco.

En los frenos de disco se genera un flujo constante de aire alrededor del disco que contribuye a disipar el calor, disminuyendo así el riesgo de pérdida de eficacia. El agua, que accidentalmente puede mojar el disco, es lanzada lejos por el rápido movimiento rotatorio del disco mismo; o bien secada bajo la acción de la pinza. Los frenos de disco son, sin embargo, más caros que los frenos de tambor, y cuando están desgastados emiten un chirrido característico. Actualmente, en la mayoría de los automóviles se suele montar los frenos de disco en las ruedas delanteras y los frenos de tambor en las traseras.

Los vehículos muy pesados y los muy veloces necesitan sistemas de frenado más potentes. Por eso utilizan el *servofreno*, que funciona según el principio de los frenos hidráulicos, pero además añade a la fuerza que acciona sobre el émbolo de la bomba hidráulica otra producida por un émbolo montado en otro cilindro dispuesto entre la bomba hidráulica y el pedal del freno. Una tubería conecta este segundo cilindro a un depresor situado en el motor. Cuando se pisa el pedal, éste, además de actuar sobre el émbolo del cilindro, abre la comunicación con el depresor del motor, que empuja el émbolo en el mismo sentido del pedal y proporciona una fuerza que se suma a la del pie, aumentando la potencia de frenado.

Véase **Automóvil, mantenimiento; Rozamiento, fuerzas de**



Posición del freno de disco en la rueda de un automóvil: a) entrada del líquido a presión; b) émbolos del freno; c) pastillas; d) disco de acero giratorio unido a la rueda.

Automóvil, mantenimiento

Un automóvil es una máquina sujeta a desgaste por el uso, e incluso por el simple paso del tiempo. Y como toda máquina, debe ser objeto de revisiones periódicas y sistemáticas, para garantizar su funcionamiento regular y evitar que se produzcan averías e inconvenientes, debidos al desgaste y al envejecimiento de los materiales. Esa revisión, casi permanente, recibe el nombre de *mantenimiento*.

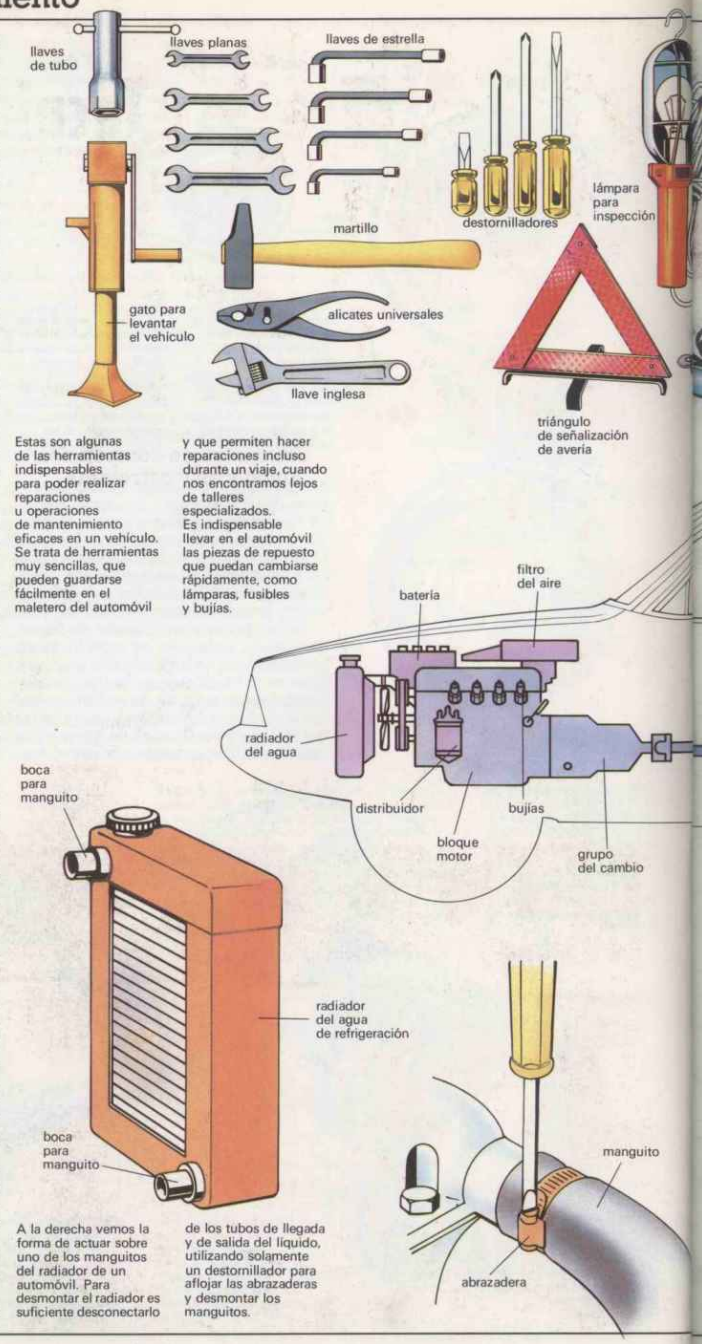
Las tareas de mantenimiento pueden realizarse en talleres especializados, donde se dispone de sistemas muy sofisticados que detectan las piezas desgastadas o defectuosas; o en talleres generales, en los que la función de detección la realiza un mecánico, que se basa para ello en sus conocimientos y, sobre todo, en su experiencia.

Sin embargo, acudir a esos talleres con frecuencia y sin que exista avería grave puede resultar caro. Además, hay revisiones que puede y debe realizar el propio usuario, ya que son sencillas. Es más: muchas de ellas deberían hacerse a diario, antes de poner en marcha el automóvil, o cada cierto número de kilómetros recorridos. De ahí que cada vez sean más los conductores que se ocupan de lo que se suele llamar "el bricolaje" de su propio automóvil.

Más complicado es ocuparse de la *mecánica* del automóvil. Por *mecánica del automóvil* entendemos el conocimiento práctico de las partes que lo constituyen y de los procesos que lo hacen funcionar y que originan un desgaste en determinadas piezas a intervalos regulares; no obstante, ese desgaste puede preverse y se pueden sustituir dichas piezas después de un cierto número de kilómetros.

El control Es de extrema importancia controlar regularmente el nivel de todos los líquidos y asegurarse de que la sustitución del aceite y de los filtros se realiza después de un determinado número de kilómetros previsto para que puedan cumplir su función básica en el mantenimiento del vehículo. En un automóvil en buenas condiciones, si el aceite y los filtros están limpios, tenemos ya el 99% de probabilidades de buen funcionamiento. Para sustituir los líquidos y los filtros hay que seguir las instrucciones del fabricante. El aceite del motor, aparte del líquido del lavaparabrisas, es el único que hay que cambiar con cierta frecuencia; pueden recorrerse de 1.600 km a 10.000 km, según la forma de conducir, antes de que sea necesario cambiar el aceite. Si se conduce a menudo por carreteras polvorientas, es aconsejable controlar atentamente el aceite con la *varilla de nivel*; si está oscuro o sucio, hay que sustituirlo. Algunas empresas productoras de aceites de motores hacen propaganda de unos tipos de aceite de larga duración que pueden utilizarse más de 40.000 km; sin embargo, su utilización es inútil, ya que los filtros no duran más de 8.000 kilómetros.

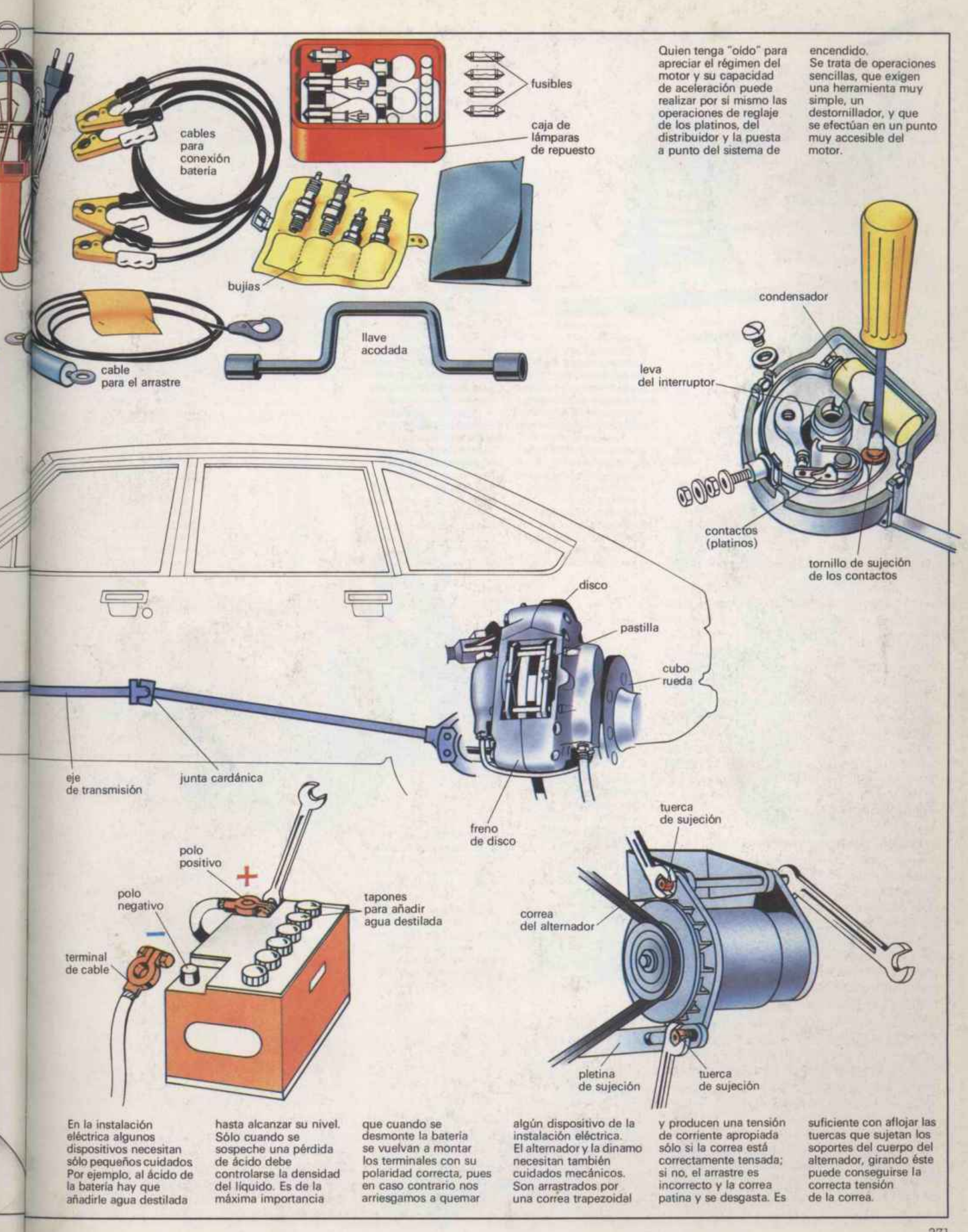
Cada vez que se cambie el aceite y los



Estas son algunas de las herramientas indispensables para poder realizar reparaciones u operaciones de mantenimiento eficaces en un vehículo. Se trata de herramientas muy sencillas, que pueden guardarse fácilmente en el maletero del automóvil y que permiten hacer reparaciones incluso durante un viaje, cuando nos encontramos lejos de talleres especializados. Es indispensable llevar en el automóvil las piezas de repuesto que puedan cambiarse rápidamente, como lámparas, fusibles y bujías.

A la derecha vemos la forma de actuar sobre uno de los manguitos del radiador de un automóvil. Para desmontar el radiador es suficiente desconectarlo de los tubos de llegada y de salida del líquido, utilizando solamente un destornillador para aflojar las abrazaderas y desmontar los manguitos.

Quien tenga "oído" para apreciar el régimen del motor y su capacidad de aceleración puede realizar por sí mismo las operaciones de reglaje de los platinos, del distribuidor y la puesta a punto del sistema de encendido.
Se trata de operaciones sencillas, que exigen una herramienta muy simple, un destornillador, y que se efectúan en un punto muy accesible del motor.



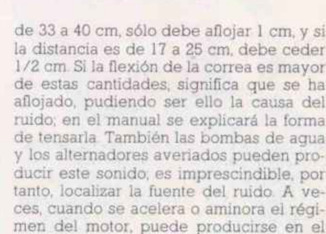
En la instalación eléctrica algunos dispositivos necesitan sólo pequeños cuidados. Por ejemplo, al ácido de la batería hay que añadirle agua destilada hasta alcanzar su nivel. Sólo cuando se sospeche una pérdida de ácido debe controlarse la densidad del líquido. Es de la máxima importancia que cuando se desmonte la batería se vuelvan a montar los terminales con su polaridad correcta, pues en caso contrario nos arriesgamos a quemar algún dispositivo de la instalación eléctrica.
El alternador y la dinamo necesitan también cuidados mecánicos. Son arrastrados por una correa trapezoidal y producen una tensión de corriente apropiada sólo si la correa está correctamente tensada; si no, el arrastre es incorrecto y la correa patina y se desgasta. Es suficiente con aflojar las tuercas que sujetan los soportes del cuerpo del alternador, girando éste puede conseguirse la correcta tensión de la correa.

El correcto funcionamiento de las bujías es muy importante para obtener el máximo rendimiento del motor y el mínimo consumo de carburante. La distancia entre los electrodos donde "salta" la chispa debe mantenerse constante y dentro de los límites previstos por el fabricante. Durante el funcionamiento, los electrodos se recubren con incrustaciones y se desgastan progresivamente. El primer defecto se corrige limpiándolos con una pequeña lima, teniendo cuidado de no erosionar el metal. El segundo se elimina acercando el electrodo exterior hacia el interior con una herramienta especial; para tener un valor correcto de la distancia se utiliza una galga que permite regular los electrodos a la medida requerida, tal como se puede ver en la figura de arriba.

La sustitución de los filtros del aceite y del aire es una operación sencilla, ya que los repuestos se encuentran fácilmente y los soportes están previstos para una rápida sustitución sin necesidad de herramientas especiales. El periodo de sustitución está establecido por el fabricante; si ha habido que revisarlos varias veces, es aconsejable efectuar el cambio antes de lo recomendado.

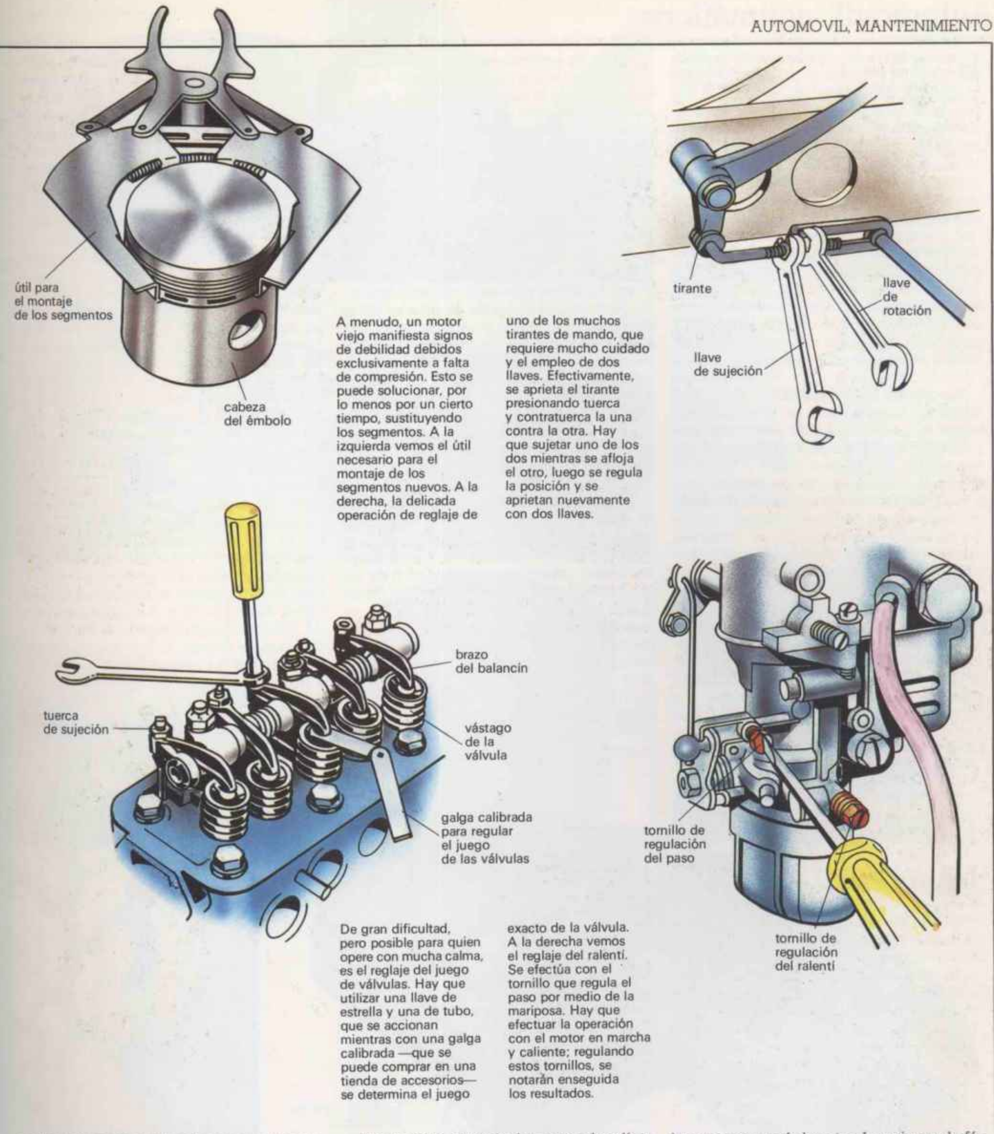
filtros es conveniente anotar cuidadosamente, en una tarjeta que se puede conservar en el propio coche, el número de kilómetros recorridos por el vehículo, o grabar el dato sobre el nuevo filtro. Para eliminar los sedimentos y las impurezas es conveniente hacer funcionar el motor antes de cambiar el aceite, de esta forma limpia bien todas las paredes. Desmontando un tapón de cabeza hexagonal, que se encuentra debajo de la tapa del aceite, se destapa el taladro de drenaje; antes de hacerlo hay que preparar un recipiente para recogerlo cuya capacidad sea por lo menos de siete litros.

Muchas operaciones de engrase pueden ser efectuadas sin dificultad; basta con conocer los lugares donde hay que introducir el aceite. Están señalados en los manuales de uso y mantenimiento del vehículo. Es necesaria además una buena bomba de aceite que asegure el perfecto llenado y la completa expulsión del aceite viejo o sucio.



Ruidos, pérdidas y olores No suele ser necesario hacer muchas pruebas, el mismo automóvil nos dice qué es lo que no funciona. Un automóvil puede "hablarnos" de muchas formas: es suficiente prestar atención a sus ruidos, observar los líquidos que pierde y los olores que emana. Conociendo este lenguaje sabremos con antelación los problemas que puede tener nuestro vehículo.

Hay que escuchar con mucha atención para determinar exactamente de dónde vienen los *ruidos* anormales y en qué condiciones son perceptibles. Si se oyen sólo cuando el automóvil está en movimiento, la avería podría estar en el grupo motor o en la transmisión que va desde el cigüeñal a las ruedas. Un *sonido metálico* parecido a una campanilla, procedente de debajo del automóvil y que se produce durante la marcha, puede significar que algo no funciona bien en las juntas universales de las transmisiones. Un ruido que se escuche cuando el automóvil se encuentra en punto muerto proviene del grupo motor. Un sonido estridente, agudo o prolongado indica muy a menudo que está patinando la correa del ventilador, del alternador, de la servodirección o del aire acondicionado. Entonces hay que comprobar si las correas se encuentran deshilachadas o están gastadas. En caso contrario, hay que apretar fuertemente con el pulgar en el centro de la correa: si la distancia entre los centros de las poleas es de 33 a 40 cm, sólo debe aflojar 1 cm, y si la distancia es de 17 a 25 cm, debe ceder 1/2 cm. Si la flexión de la correa es mayor de estas cantidades, significa que se ha aflojado, pudiendo ser ello la causa del ruido; en el manual se explicará la forma de tensarla. También las bombas de agua y los alternadores averiados pueden producir este sonido; es imprescindible, por tanto, localizar la fuente del ruido. A veces, cuando se acelera o aminora el régimen del motor, puede producirse en el



A menudo, un motor viejo manifiesta signos de debilidad debidos exclusivamente a falta de compresión. Esto se puede solucionar, por lo menos por un cierto tiempo, sustituyendo los segmentos. A la izquierda vemos el útil necesario para el montaje de los segmentos nuevos. A la derecha, la delicada operación de reglaje de uno de los muchos tirantes de mando, que requiere mucho cuidado y el empleo de dos llaves. Efectivamente, se aprieta el tirante presionando tuerca y contratuerca la una contra la otra. Hay que sujetar uno de los dos mientras se afloja el otro, luego se regula la posición y se aprietan nuevamente con dos llaves.

De gran dificultad, pero posible para quien opere con mucha calma, es el reglaje del juego de válvulas. Hay que utilizar una llave de estrella y una de tubo, que se accionan mientras con una galga calibrada —que se puede comprar en una tienda de accesorios— se determina el juego exacto de la válvula. A la derecha vemos el reglaje del ralentí. Se efectúa con el tornillo que regula el paso por medio de la mariposa. Hay que efectuar la operación con el motor en marcha y caliente; regulando estos tornillos, se notarán enseguida los resultados.

carburador o en el tubo de escape una explosión —parecida a un disparo de arma de fuego—; esto nos indica que las bujías no funcionan normalmente o que el carburador no está perfectamente regulado. Cuando después de desconectar el encendido con la llave de contacto el motor sigue funcionando, se produce autoencendido y hay que proceder a regular el carburador, poner a punto el encendido y utilizar gasolina de un mayor número de octanos.

Finalmente, cuando hayamos localizado una pieza defectuosa, tenemos la posibilidad de sustituirla por una usada, por una revisada y regenerada o por una nueva. En los desguaces de automóviles podemos encontrar a bajo precio piezas tales como tambores de freno, cristales o manillas de todo tipo. Otras piezas como alternadores y bombas pueden comprarse regeneradas, es decir, usadas pero revisadas y readaptadas para el uso. A menudo estas piezas son tan eficientes como las nuevas, y más baratas. Las piezas de fácil desgaste y las que deben estar particularmente limpias (forros, filtros, zapatas y pastillas de freno y los componentes del sistema eléctrico, como las bujías y los platinos) deberían comprarse siempre nuevas.

Véase **Automóvil, carburación y sistemas de inyección; Automóvil, diferencial; Automóvil, dirección; Automóvil, embrague y caja de cambios; Automóvil, encendido del; Automóvil, freno; Automóvil, neumáticos**

Automóvil, neumáticos

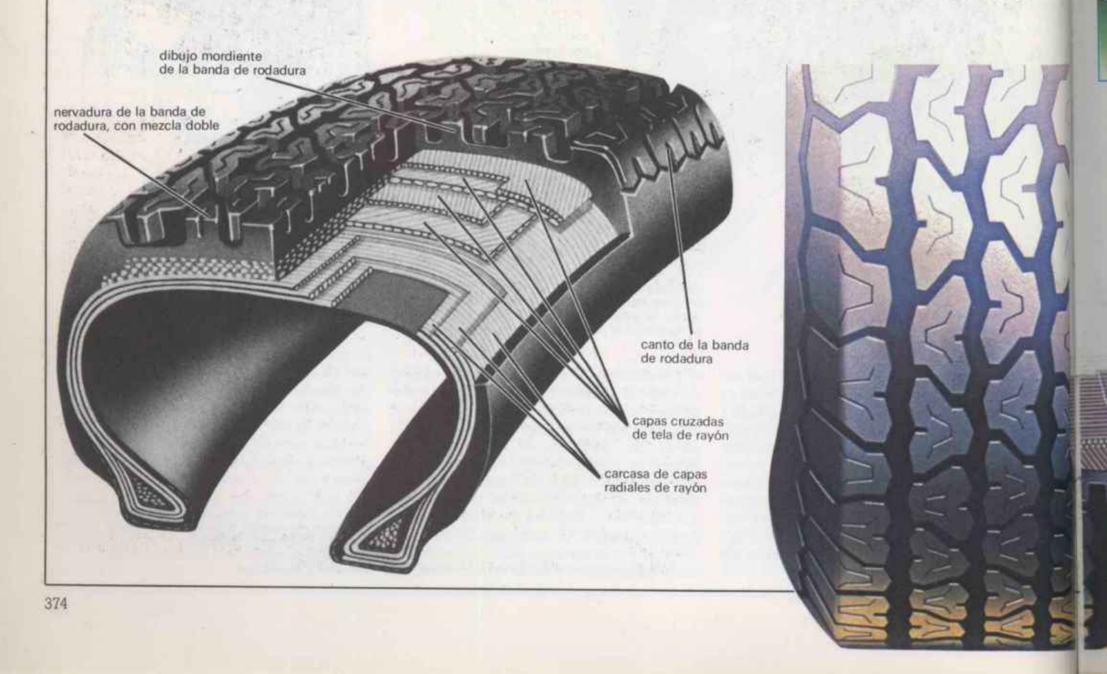
La superficie de contacto entre las ruedas del vehículo y el suelo es de sólo algunos decímetros cuadrados de goma. La eficacia de esta pequeña superficie de contacto depende de las condiciones y del tipo de neumáticos utilizados y afecta muchísimo al conjunto de prestaciones y a la seguridad de la conducción. Las vibraciones que se notan viajando en un vehículo con neumáticos poco hinchados, por ejemplo, demuestran la importancia que tienen las cámaras de aire en el sistema de suspensión. La adherencia o "agarre" de los neumáticos a la carretera es fundamental para la velocidad y marcha del vehículo y afecta a la dirección y al frenado, dos de los más importantes aspectos del sistema de seguridad.

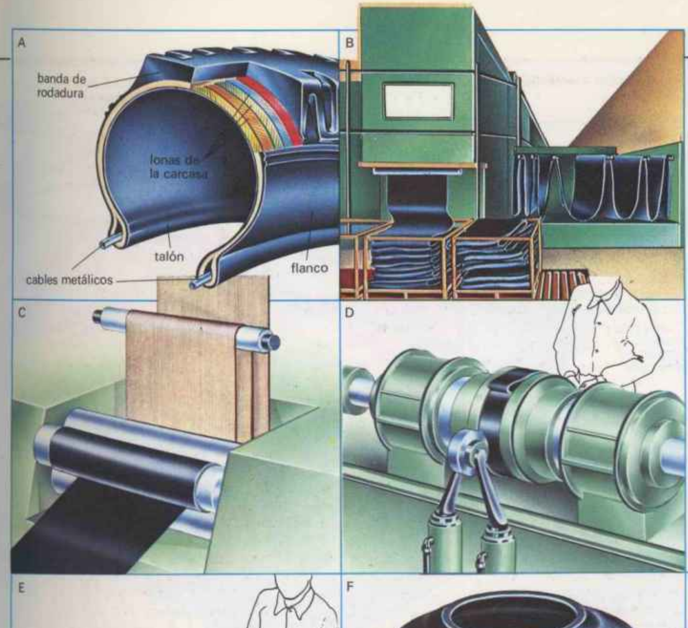
Producción de neumáticos En la producción de neumáticos se utilizan tecnologías muy refinadas. Los materiales empleados son: diferentes calidades de goma, tejidos de nailon o rayón y cable de acero. El interior de los neumáticos está constituido por un revestimiento de tejido impregnado de goma, entrelazado con hilos de nailon, rayón y poliéster formando un cuerpo circular cuya sección tiene forma de herradura. En los talones interiores del neumático, que se fijan a la llanta, se introducen unos cables de acero que le confieren una gran rigidez. La superficie interior de la cubierta está delimitada por una fina capa de goma, mientras que la superficie externa de la banda de rodadura y de los flancos está constituida por una capa de goma de mayor espesor. Todas éstas se unen entre sí mediante un proceso de "vulcanizado".

Tipos de neumáticos Si las capas sucesivas del tejido de revestimiento están superpuestas la una sobre la otra de forma que las líneas de las fibras del material se crucen, el neumático se llama de *estructura diagonal*. El neumático *diagonal cinturado* se fabrica con esta misma técnica, introduciendo además otras capas de revestimiento debajo de la banda de rodadura en forma de cinturón. Un neumático muy difundido es el llamado *radial*, en el cual las capas del revestimiento están dispuestas la una a continuación de la otra y con las fibras perpendiculares a la banda de rodadura. Además, se colocan lonas directamente debajo y paralelamente a la banda de rodadura. Se prefiere este tipo de neumático a otros por las siguientes razones: asegura una excelente flexibilidad sin deformarse, ofrece una mayor suavidad a media y alta velocidades y, finalmente, su mayor adherencia al suelo mejora las prestaciones de la dirección y —muy importante— de los frenos.

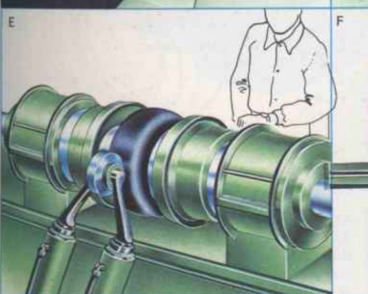
Clasificación de los neumáticos Los neumáticos se subdividen en categorías según la carga que pueden soportar. Las medidas de los neumáticos y el número de "lonas" (capas de revestimiento de tela) determinan la carga que pueden transportar y la presión máxima a la que se pueden inflar. En el neumático se suelen marcar sus dimensiones (y en algunos países, también la carga y presión máximas que pueden soportar, y la velocidad máxima de empleo). La dimensión de un neumático está definida por el ancho y el alto de su sección tansversal y por el diámetro de la llanta sobre el cual se monta.

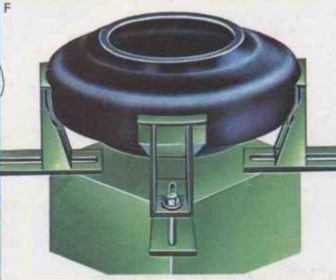
Prestaciones de los neumáticos Examinando un neumático, es posible determinar su estado de conservación. En primer lugar, hay que verificar el estado de la banda de rodadura. Si el neumático está gastado y no tiene espesor suficiente, pierde la capacidad de adherencia, disminuyendo la capacidad de frenado del vehículo. Un espesor del dibujo inferior a 1,5 mm, además de resultar peligroso, disminuye el *reprise* y aumenta el gasto de combustible. Hay que verificar igualmente si la presión de hinchado es la que prescribe el fabricante del vehículo. Si la presión es más alta, disminuirá la adherencia, se desgastará más la zona central de la banda de rodadura, aumentarán también las sacudidas debidas a los baches y se originará una marcha incómoda y rígida del vehículo. Un neumático poco hinchado provocará el desgaste prematuro de las zonas externas de la banda de rodadura y convertirá en dura e imprecisa la dirección. El neumático se infla por una válvula que sale de la parte interior de la llanta. Un correcto diseño del dibujo del neumático y una presión apropiada disminuyen el calentamiento producido por una conducción veloz. El calor debido al rozamiento entre el neumático y la superficie de la carretera aumenta con la velocidad del vehículo y, si es excesivo, puede deteriorar rápidamente el neumático. El desgaste normal de los neumáticos para vehículos de turismo medio se calcula a una velocidad de 80 km/h. Las prestaciones y la duración se ven afectadas igualmente por el equilibrado estático y dinámico de las ruedas. Si al levantar una rueda y ponerla en rotación varias veces



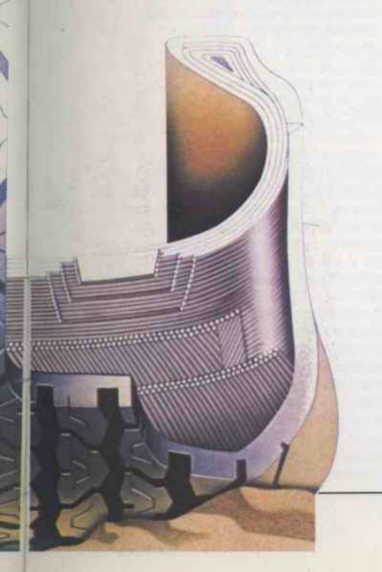


Al lado pueden verse las fases principales del ciclo de producción de un neumático. El ciclo se inicia mezclando goma natural, sintética y aditivos para la preparación de la mezcla que se utiliza en la construcción del neumático, cuya sección vemos en A.
En B podemos observar cómo sale la mezcla en forma de hojas preparadas en una máquina especial.
En la figura C se ve cómo los tejidos de tela y los hilos del material de refuerzo son engomados en otra máquina. Estos tejidos preparados forman la base de la estructura de la carcasa del neumático, como podemos ver en D. Alrededor de este tambor de acero se envuelven primeramente varias lonas y, luego, como se puede ver en E, se unen los flancos y la banda de rodadura utilizando las hojas de goma ya preparadas.
En F podemos ver un neumático, llamado "crudo", al cual le ha sido dada su forma anular insuflando aire comprimido en el interior mientras se encuentra montado sobre un tambor.
La última operación es el estampado, que se obtiene soplando aire caliente en el interior del neumático, de forma que le empuje contra el molde. A la vez, mediante calor, la goma es vulcanizada, estabilizando de forma permanente sus propiedades mecánicas. El característico dibujo de la banda de rodadura le confiere adherencia en terreno seco y mojado, manejabilidad y resistencia al desgaste y al rozamiento.









se para siempre con la misma zona hacia abajo, el neumático está desequilibrado. Sin embargo, si la rueda se para en distintas posiciones, está equilibrada estáticamente y el peso está uniformemente distribuido alrededor del eje de rotación. La rueda está equilibrada dinámicamente cuando el peso está uniformemente distribuido en el lado derecho e izquierdo con respecto a su línea media. Cuando el centro de gravedad correspondiente al peso de la rueda está desplazado hacia un lado u otro de su línea media, existe desequilibrio dinámico. Esta posición del centro de gravedad no afecta al equilibrio estático de un neumático, pero, cuando gira deprisa, este desplazamiento del centro de gravedad con respecto al eje longitudinal del neumático hace que la fuerza centrífuga que se genera forme un *par de vuelco*, cuyo sentido cambia durante el giro de la rueda. Esto provoca un movimiento vibratorio que produce una marcha incómoda y problemas de estabilidad de la dirección.

Los problemas de desequilibrado estático y dinámico se resuelven enganchando o soldando unos pesos en los lados de la llanta hasta alcanzar una exacta distribución del peso. Hace años, debido al diferente desgaste que se solía producir en los neumáticos de un automóvil, se aconsejaba cambiarlos de posición cada 8.000 kilómetros. En la actualidad, como consecuencia de la mejor calidad de los neumáticos y de unas suspensiones que no provocan desgastes irregulares, muchos fabricantes incluso desaconsejan hacer esta rotación, que no aumenta su duración.

En algunos vehículos dotados de neumáticos anchos la rueda de repuesto es mucho más estrecha y sólo sirve como solución de emergencia para llegar al lugar donde puedan efectuar la reparación. El cuidado de los neumáticos consiste, por tanto, en tener una banda de rodadura con dibujo suficiente, una presión de inflado correcta y un exacto equilibrado.

Véase **Automóvil; Automóvil, carrocería y suspensión; Automóvil, seguridad; Automóvil de competición**

Automóvil, seguridad

Los accidentes automovilísticos son ya tan frecuentes y graves que constituyen la principal causa de mortalidad en los hombres y mujeres de menos de 35 años, y aunque muchos sean debidos a conducir bajo los efectos del alcohol, a distracción del conductor, a las malas condiciones de las carreteras o a la incorrecta colocación de algunas señales indicadoras, la muerte de los pasajeros suele facilitarse a menudo por falta de previsión en el proyecto y construcción del automóvil e inexistencia de los elementos de seguridad necesarios.

Está bastante difundida la opinión de que los accidentes graves son inevitables a causa de las elevadas velocidades. Pero diversas investigaciones han demostrado que la mayoría de los accidentes graves se habrían producido igualmente aunque la velocidad no rebasara los 100 km/h. En el año 1965 fue necesario crear en Estados Unidos una legislación sobre la seguridad en la construcción de los automóviles. Como consecuencia, fue promulgada una ley que fijaba unas normas para la introducción de unos sistemas de seguridad en los automóviles. Las disposiciones contenidas en esta ley fueron pronto adoptadas también por las industrias japonesa y europea.

Es muy difícil definir en qué consiste el "dispositivo de seguridad" de un automóvil: comprende cualquier sistema apto para aumentar la seguridad, refiriéndose por lo tanto a todas las pequeñas variaciones en el proyecto que permitan a los vehículos circular con mayor facilidad y tomar mejor las curvas. Pero muchos de estos sistemas permiten también alcanzar mayores velocidades, y, por lo tanto, contribuyen a provocar accidentes de mayor gravedad, de ahí que puedan considerarse peligrosos.

Otros sistemas están más estrechamente relacionados con la seguridad, como por ejemplo el *sistema de frenos de doble bomba hidráulica*, que protege el automóvil contra una posible pérdida de la capacidad de frenado.

Los frenos del automóvil son accionados hidráulicamente, es decir, que transmiten la presión del pie sobre el pedal a los frenos de las ruedas por medio del aceite enviado a presión por unos pequeños tubos de acero. Si por cualquier motivo estas tuberías (*circuito hidráulico de los frenos*) son obstruidas, los frenos dejan de funcionar. Con el sistema de doble bomba hidráulica se utilizan dos circuitos separados, uno para los frenos anteriores y otro para los posteriores, de forma que si ocurre una avería en el circuito no hay peligro de quedarse sin posibilidad de frenar. Efectivamente, si se interrumpe un circuito por la pérdida de líquido, el conductor dispone de un segundo sistema de freno para poder detener el vehículo; es poco probable que los frenos anteriores y los posteriores se averíen al mismo tiempo.

Otros sistemas de seguridad son el *diferencial autoblocante*, que limita el deslizamiento de las ruedas, los *faros antiniebla*, que permiten al conductor ver los demás vehículos en las noches de niebla, y los *dispositivos antideslumbrantes* de los espejos retrovisores.

Sin embargo, el término *dispositivo de seguridad* se refiere generalmente a todos los elementos del automóvil proyectados expresamente para reducir al mínimo los daños a los ocupantes en una colisión. Estos comprenden: las cerraduras de seguridad de las puertas, que en caso de accidente impiden que los pasajeros sean lanzados fuera del vehículo; los cinturones de seguridad, que sujetan a los pasajeros al asiento reduciendo la posibilidad de que puedan golpearse con las estructuras interiores de la carrocería, la columna de dirección deformable, que aminora el golpe cuando el conductor choca con el volante; y los parachoques especiales, que absorben parte de la energía de la colisión.

Diversos estudios llevados a cabo científicamente han demostrado que el ocupante, en caso de accidente, tiene mayor probabilidad de resultar ileso si no es proyectado fuera del vehículo a través de una ventanilla o si no se golpea con el volante o el salpicadero. Los dispositivos para la protección de los ocupantes de un automóvil sirven precisamente para evitar que esto suceda.

en color violeta - estructuras que no deben deformarse

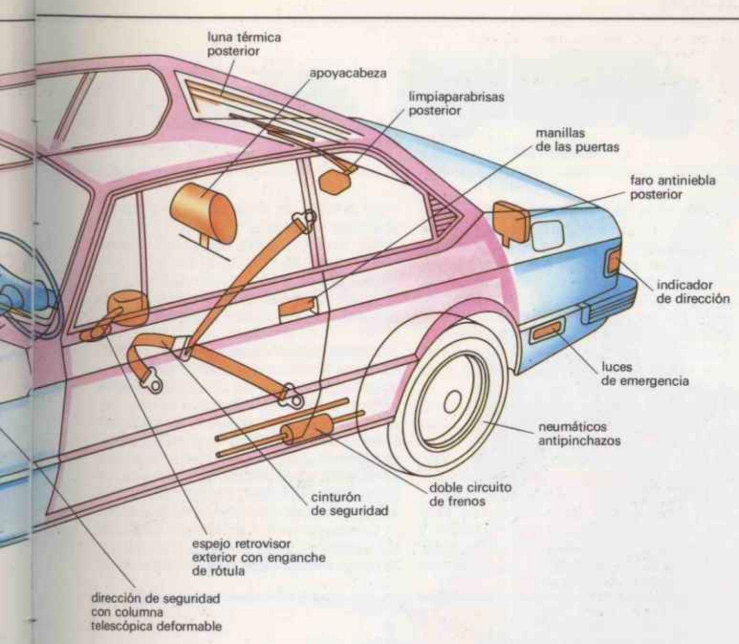
en color azul - estructuras que deben deformarse

volante con protección para impacto y regulable en altura
vidrio estratificado y laminado
zona acolchada
limpiaparabrisas integrados
montaje del motor deformable hacia abajo
perfil anterior sin salientes
faros de luz polarizada
parachoques que absorben la energía
limpiacristal y lavacristal para los faros
eje de giro de la rueda situado exteriormente a la línea media del neumático
indicador de dirección
inclinación de la rueda (*camber*) negativa

FRECUENCIAS (EN %) DE LOS ACCIDENTES RELACIONADAS CON LAS DISTINTAS ZONAS DEL VEHICULO
(arriba, número de accidentes con heridos - abajo, número de accidentes graves)

Zona	Con heridos	Graves
Delantera	59	9,5
Lateral izquierda	6,5	22,9
Lateral derecha	6,5	22,9
Trasera	6,9	4,5

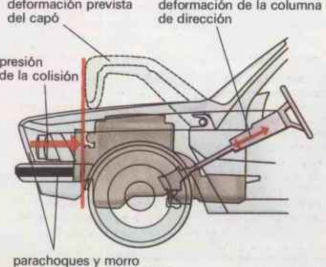
En el dibujo superior vemos algunos puntos en los cuales se concentra hoy día la seguridad para los ocupantes de un vehículo. En primer lugar hay que eliminar del interior del automóvil todos los puntos que ofrecen particular resistencia y contra los cuales podría golpearse peligrosamente el ocupante. Igualmente, los pasajeros deben sujetarse con los cinturones de seguridad y protegerse, por medio de los apoyacabezas, de las lesiones cervicales. La estructura del vehículo debe poder ceder progresivamente a consecuencia del impacto, y la instalación eléctrica debe prever la desconexión automática para no provocar incendios.





A la derecha de estas líneas, abajo, la parte delantera de un automóvil que se deforma a consecuencia de un choque; sólo se produce la deformación hasta el habitáculo. La columna de la dirección puede deformarse o bien (a la izquierda de estas líneas) bascular sin presionar el cuerpo del conductor. Aquí, a la derecha, se representa la estructura del habitáculo: los pilares que sujetan el techo son de pequeñas dimensiones para permitir una mayor visibilidad, constituyendo por tanto unos puntos débiles que se refuerzan con otras piezas de chapa embutidas.

fuertes refuerzos y nervaduras de chapas de gran espesor para aumentar la resistencia del habitáculo



Para tratar de conseguir que los pasajeros permanezcan en el interior del automóvil, se refuerzan generalmente las cerraduras, evitando de esta forma que las puertas se abran con el golpe. Estas cerraduras de seguridad están estudiadas para poder resistir esfuerzos procedentes de cualquier dirección, y son de doble cierre (si uno no funciona, se queda cerrada gracias al otro).

Los cinturones de seguridad constituyen el mejor medio para evitar que los pasajeros se golpeen contra las estructuras interiores del habitáculo. Estos cinturones pueden ser del tipo *abdominal* o *de bandolera*, y son fabricados con un tejido que puede resistir una tracción de 2.700 kg. Una extremidad de cada cinturón está unida al bastidor a los dos lados del asiento, y las otras extremidades libres se enganchan en el centro entre sí (cinturón abdominal). En el de tipo bandolera, un tercer cinturón —sujeto en el pilar del techo— se une con una hebilla corredera al cinturon principal, sobre el que se desplaza para apretar más o menos el cuerpo.

Los dispositivos de seguridad "voluntarios", como los cinturones, requieren la colaboración de los pasajeros, pero como muchos no están dispuestos a colaborar, han sido estudiados unos sistemas de seguridad "involuntarios", que no requieren dicha colaboración. Muchos de estos dispositivos, como el volante y el salpicadero acolchados y los vidrios de seguridad, sólo sirven para amortiguar el efecto del impacto. En el caso de que el conductor sea lanzado fuera del automóvil a través del parabrisas, como sucede en el caso de un choque frontal, el vidrio de seguridad se rompe en pequeños fragmentos en lugar de explotar lanzando peligrosos cristales cortantes.

Las columnas de dirección deformables Sirven para disminuir las heridas que el conductor pueda producirse al chocar contra el volante si no se ha colocado el cinturón de seguridad o si por efecto del choque la columna es empujada al interior del habitáculo. Una columna de este tipo está constituida por un tubo metálico que en caso de choque se encoge como un acordeón, absorbiendo la energía, amortiguando el golpe y disminuyendo los posibles daños que pueda provocar el volante al conductor; sin embargo, este sistema no puede eliminarlos por completo.

Otros estudios relativos a la seguridad del automóvil consideran conveniente la utilización de un sistema de combinaciones en lugar de la llave de contacto; se piensa que, al ser necesaria una mayor habilidad para componer la combinación, un conductor en estado de embriaguez será incapaz de hacerlo y, por lo tanto, no podrá poner en marcha el automóvil. Ya que se ha comprobado que una buena parte de los accidentes está producida por conductores algo bebidos, cualquier dispositivo que impida la utilización del automóvil por parte de estos individuos salvará vidas humanas. Sin embargo, el encendido por combinación tiene que ser estudiado de nuevo y con más profundidad para conseguir una garantía de buen funcionamiento.

Todos estos ingenios mecánicos y sistemas de seguridad son de escasa utilidad si no se utilizan o no se conduce con prudencia y sentido de la responsabilidad.

Véase **Automóvil; Automóvil, freno; Automóvil de competición**

Automóvil de competición



Marmon Wasp, 1911



Bentley, 1930



Mercedes Benz, 1937

Los automóviles de carreras han evolucionado mucho desde el año 1895 en que Panhard ganó la primera competición de este tipo a un promedio de velocidad de 25 km por hora. Las velocidades actuales superan los 320 km por hora, y la costumbre que tenían entonces los pilotos de llevar el vehículo al circuito, de pilotarlo durante la competición y conducirlo luego hasta su casa es ya un recuerdo de tiempos pasados.

Existen muy diversos tipos de automóviles de carreras, pero sin duda los más famosos son los de Fórmula 1. Se construyen según los datos característicos impuestos por el reglamento de cada tipo de competición. El ejemplo más significativo lo constituyen los automóviles que participan en competiciones que se desarrollan en circuitos ovales, como las 500 millas de Indianápolis, cuya dirección sólo puede torcer hacia la izquierda. La velocidad y la potencia son los factores principales de un automóvil de carreras, cuyo elemento más importante es el motor.

Estructura del motor Para conseguir la rápida aceleración (de 0 a 100 km/h en alrededor de 4 segundos) necesaria en las carreras automovilísticas, el corredor debe disponer de un vehículo extremadamente potente (unos 450 CV), pero al mismo tiempo muy ligero.

La mayoría de los automóviles tradicionales tienen cuatro, seis u ocho cilindros y los émbolos hacen rotar el cigüeñal a 5.000-6.000 revoluciones por minuto. Sin embargo, los automóviles de carreras tienen doce cilindros y alcanzan de 11.000 a 14.000 revoluciones por minuto.

El cigüeñal, que transforma el movimiento alternativo de los émbolos en un movimiento de rotación apto para ser transmitido a las ruedas, es más resistente en un automóvil de carreras que en un automóvil tradicional, ya que tiene que soportar la elevada potencia y el gran número de revoluciones por minuto.

El árbol de levas está colocado generalmente encima de las válvulas de los cilindros, eliminando así la necesidad y el peso de los vástagos y de los balancines. Estos ejes están mandados por el cigüeñal a través de los engranajes de la distribución, creándose así un efecto contrario.

Muchos pilotos comparan la sensación que se siente en el transcurso de una carrera automovilística a la que se experimenta volando. A menudo se utiliza el mismo carburante usado en los aviones, que, a velocidades elevadas, quema mejor que el empleado normalmente en los automóviles tradicionales.

Estructura de la carrocería Cualquier tipo de carrocería, hasta la más vistosa, ha sido reducida prácticamente a lo esencial, para poder compensar así el mayor peso de otros elementos que deben resistir el esfuerzo producido por la elevada velocidad. Aparte de lo estéticamente bonito que puede resultar un automóvil de competición, lo esencial de su carrocería es que sea eficaz desde un punto de vista aerodinámico.

Efectivamente, la primera prueba que un automóvil debe afrontar no es contra el tiempo u otros vehículos, sino contra el aire, en el que debe penetrar para poder avanzar. El aire, que opone resistencia cuando un cuerpo intenta atravesarlo a cierta velocidad, se aparta a su paso creando torbellinos que contrarrestan y desequilibran el empuje del vehículo hacia adelante. La ventaja de una carrocería aerodinámica y de forma puntiaguda está en que consigue desplazar mucho más suavemente una mínima cantidad de aire, reduciendo por tanto la turbulencia. También el aire que pasa violentamente por debajo del vehículo es turbulento y puede hacer desviar la trayectoria del automóvil, por eso los automóviles de carreras están proyectados de forma que parecen "aplastar" el suelo; los modelos más modernos tienen su parte inferior muy próxima al piso. Para reducir la turbulencia del aire la extremidad posterior del automóvil tiene una forma como si le hubieran cortado. Este nuevo perfeccionamiento, que se llama "cola de Kamm" por su inventor W.I.E. Kamm, tiene además la ventaja de que el vehículo resulta más ligero. También puede levantarse el alerón trasero para aumentar el empuje de la parte posterior del vehículo hacia el suelo.

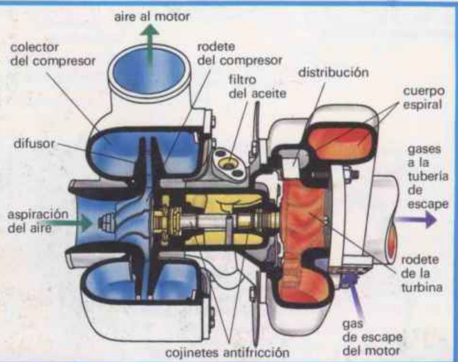
Las carrocerías de los automóviles de carreras son de fibra de vidrio, y los bastidores, de titanio, material más ligero que el acero utilizado corrientemente en la mayoría de los automóviles de serie.

Estabilidad en carretera Los automóviles de carreras deben ser extremadamente sensibles a las condiciones de la carretera. Dado que el piloto va muy poco levantado con respecto al suelo, los amortiguadores deben estar muy bien regulados. El alerón anterior está paralelo al suelo para no golpearse con el mismo, de forma que cuando el conductor frene, el vehículo pueda pararse sin dar bandazos.

Contrariamente a los demás vehículos, los automóviles de carreras disponen de barras de seguridad que atraviesan el vehículo a lo ancho por encima de la cabeza del conductor. En caso de accidente, la barra impide que al volcar el vehículo aplaste al conductor. Los neumáticos de los automóviles de carreras son más anchos que los de los vehículos tradicionales y están tratados normalmente con sustancias que aumentan la adherencia al suelo.

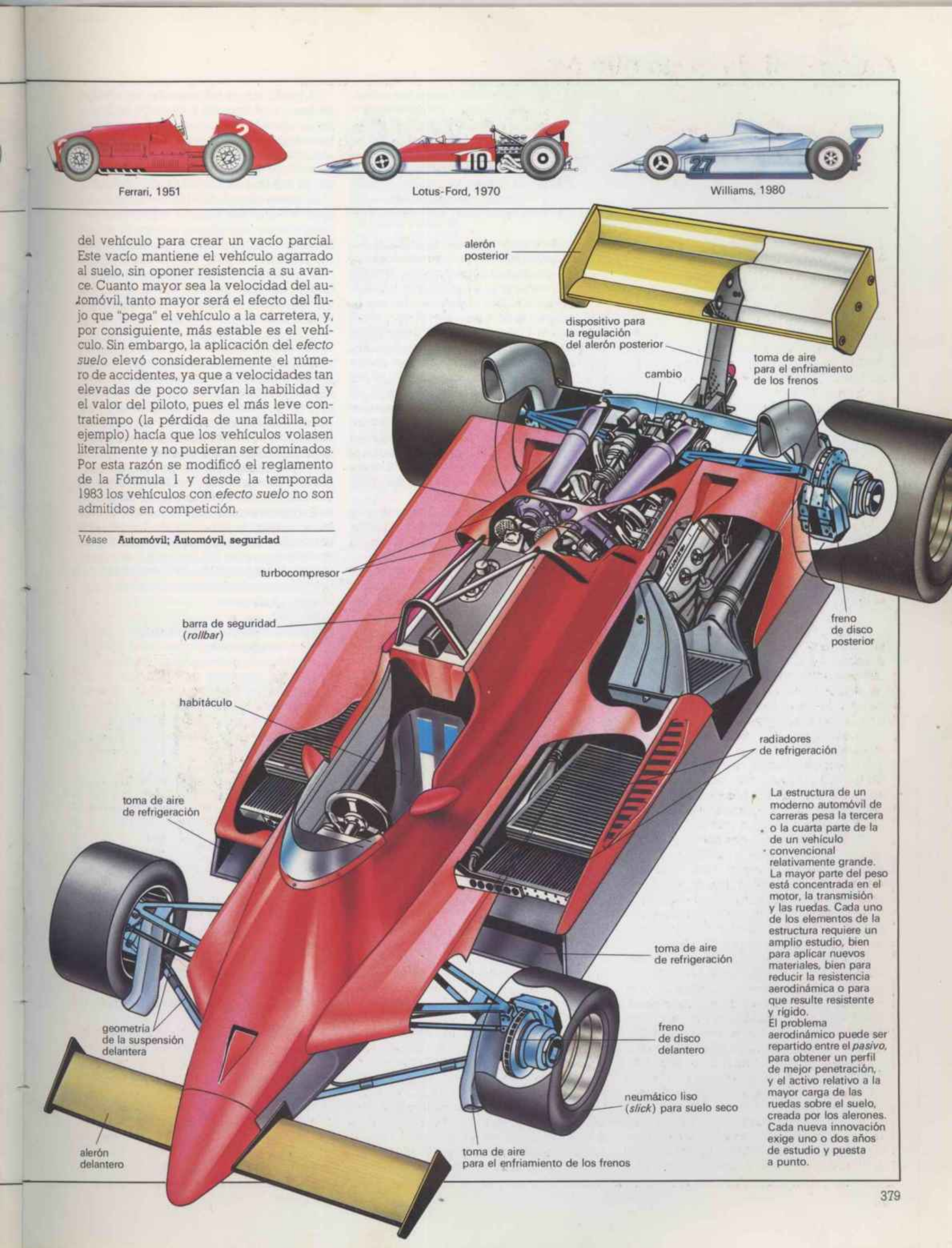
El proyecto y la tecnología de los automóviles de carreras están tan adelantados que muchos vehículos son más estables y se agarran mejor a la carretera cuando alcanzan la velocidad máxima. Tal es el caso de los automóviles de *efecto suelo*, que son una excepción a la regla "una línea aerodinámica para alcanzar mayor velocidad". Están provistos de un borde de acero que dirige el flujo de aire por debajo

En los motores normales la mezcla aire-gasolina entra en el cilindro por efecto de la aspiración, pues el émbolo, al bajar, hace que la presión en el cilindro sea inferior a la atmosférica. En los motores de competición, de elevado número de revoluciones, la depresión no es suficiente para llenar por completo los cilindros, y puede haber una disminución del rendimiento. Por eso se sobrealimenta el motor con un compresor, generalmente centrífugo, cuyo rodete envía el aire comprimido al motor. La energía residual de los gases de escape es aprovechada por la turbina para accionar el rodete del compresor.



del vehículo para crear un vacío parcial. Este vacío mantiene el vehículo agarrado al suelo, sin oponer resistencia a su avance. Cuanto mayor sea la velocidad del automóvil, tanto mayor será el efecto del flujo que "pega" el vehículo a la carretera, y, por consiguiente, más estable es el vehículo. Sin embargo, la aplicación del *efecto suelo* elevó considerablemente el número de accidentes, ya que a velocidades tan elevadas de poco servían la habilidad y el valor del piloto, pues el más leve contratiempo (la pérdida de una faldilla, por ejemplo) hacía que los vehículos volasen literalmente y no pudieran ser dominados. Por esta razón se modificó el reglamento de la Fórmula 1 y desde la temporada 1983 los vehículos con *efecto suelo* no son admitidos en competición.

Véase **Automóvil; Automóvil, seguridad**



La estructura de un moderno automóvil de carreras pesa la tercera o la cuarta parte de la de un vehículo convencional relativamente grande. La mayor parte del peso está concentrada en el motor, la transmisión y las ruedas. Cada uno de los elementos de la estructura requiere un amplio estudio, bien para aplicar nuevos materiales, bien para reducir la resistencia aerodinámica o para que resulte resistente y rígido. El problema aerodinámico puede ser repartido entre el *pasivo*, para obtener un perfil de mejor penetración, y el activo relativo a la mayor carga de las ruedas sobre el suelo, creada por los alerones. Cada nueva innovación exige uno o dos años de estudio y puesta a punto.

Autopistas y carreteras

Los antiguos romanos fueron los primeros grandes constructores de carreteras. Sus largas y rectas vías entre ciudades y campamentos militares permitían un rápido acceso para sus legiones y animales de carga, y aún hoy, muchas carreteras y autopistas siguen los antiguos trazados de las calzadas romanas, si bien las técnicas de contrucción son muy diferentes.

En los primeros años del siglo XX, el desarrollo del transporte motorizado hizo imperativo adaptar la superficie de rodadura de las carreteras a las nuevas exigencias, lo que condujo al empleo del macadam alquitranado (mezcla asfáltica); sin embargo, la I Guerra Mundial postergó el auge de la construcción de carreteras. Entre las dos guerras mundiales, el crecimiento de la industria estadounidense del automóvil generó una gran expansión en la construcción de carreteras y comenzaron a surgir las autopistas, la primera de las cuales se construyó en Italia (Milán-Lagos Alpinos) en 1938. La primera red nacional de autopistas se formó en Alemania y llegó a cubrir 1.980 km en 1942.

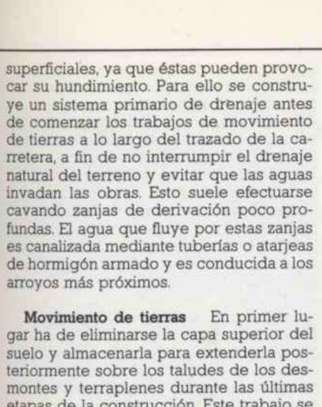
Proyecto de carreteras Una vez que las autoridades competentes deciden construir una nueva carretera o autopista entre dos puntos, son necesarios muchos y variados estudios antes de establecer el proyecto definitivo. Para cada una de las posibles rutas se necesita información detallada sobre la altimetría del terreno, que hoy día puede obtenerse con gran precisión por medio de fotografías aéreas. Los detalles de los tipos de materiales del suelo, para contrucción de terraplenes, y del sustrato geológico se obtienen a partir de sondeos y calicatas hechos a lo largo del trazado de la futura carretera. También se estudian condiciones climáticas locales, tales como niebla, lluvia, amplitudes térmicas y heladas. En los países desarrollados se necesita, además, información sobre los precios del suelo y sobre varios factores ambientales que incluso pueden requerir encuestas públicas.

A partir de la información topográfica se escoge el trazado y nivel de cada una de las posibles carreteras, de acuerdo con las normas de pendiente, visibilidad y otros factores dictadas por las autoridades de tráfico. Con todo ello se intenta reducir al mínimo la cantidad de materiales que deben ser excavados y transportados para rellenar los terraplenes adyacentes. También es importante mantener en un mínimo la longitud de los puentes y túneles necesarios para cruzar ferrocarriles, ríos, montañas u otras carreteras. Habida cuenta de todos estos factores, se hace la elección de la ruta y se elabora el proyecto definitivo.

La contratación A continuación se formalizan los contratos de compra o expropiación forzosa de aquellos terrenos sobre los cuales ha de discurrir la carretera. Se preparan planos detallados y pliegos de especificaciones de materiales a fin de que los contratistas puedan ofertar la contrucción, normalmente en régimen de libre competencia. A su vez, las autoridades designan un ingeniero director de la obra y sus ayudantes, a fin de garantizar que el contratista que ganó el concurso desarrolla el trabajo de acuerdo con los planos y especificaciones. Sin salirse de las exigencias del proyecto, el contratista será responsable de la decisión sobre los procedimientos y medios de construcción a emplear.

Vallado y limpieza del terreno Con el equipo de construcción ya sobre el terreno, primeramente hay que desbrozar el trazado de la nueva carretera, vallarla en ciertos tramos, talar los árboles y arrancar los tocones y rocas con los *bulldozers* (pala transversal de empuje), o, si es necesario, volarlos con explosivos. En ocasiones se requiere la construcción de caminos provisionales de transporte.

Drenaje previo La base de los terraplenes y los taludes de los desmontes debe protegerse de la acción de las aguas



superficiales, ya que éstas pueden provocar su hundimiento. Para ello se construye un sistema primario de drenaje antes de comenzar los trabajos de movimiento de tierras a lo largo del trazado de la carretera, a fin de no interrumpir el drenaje natural del terreno y evitar que las aguas invadan las obras. Esto suele efectuarse cavando zanjas de derivación poco profundas. El agua que fluye por estas zanjas es canalizada mediante tuberías o atarjeas de hormigón armado y es conducida a los arroyos más próximos.

Movimiento de tierras En primer lugar ha de eliminarse la capa superior del suelo y almacenarla para extenderla posteriormente sobre los taludes de los desmontes y terraplenes durante las últimas etapas de la construcción. Este trabajo se hace normalmente con tractores oruga, que remolcan traíllas. El trabajo principal de desmonte y terraplenado comienza entonces, mediante el empleo de traíllas sobre neumáticos de goma. Estas son máquinas, de uno o dos motores, que disponen de una cuchilla horizontal, la cual se hace descender a fin de cortar horizontalmente una sección de tierra, que es recogida por la tolva de la traílla. Una vez que esa tolva se llena, se levanta la cuchilla y la traílla cargada se desplaza hacia la zona de vertido de tierras. Con ciertos tipos de material, tales como cretas y margas, que pueden reblandecerse a causa de la humedad, o cuando hay que llevar el material extraído a una distancia superior a 3 km, el corte del terreno debe hacerse con excavadoras de cuchara frontal, que cargan los materiales sobre camiones volquetes. Cuando el terreno es rocoso, se rompe la roca con explosivos.

Para terraplenar la base de la carretera, las traíllas extienden la tierra en capas delgadas que son niveladas por los *bulldozers* y compactadas a continuación mediante tractores oruga que remolcan rodillos vibradores o mediante apisonadoras autopropulsadas. Es importante que las capas sucesivas a la base estén correcta-

Muchas carreteras modernas siguen el trazado de las antiguas que, durante siglos, se han adaptado a las nuevas condiciones de tráfico. A menudo han sido añadidas rectificaciones que hacen difícil reconocer el antiguo trazado. Las nuevas arterias de tráfico y las autopistas se proyectan con criterios totalmente diferentes: deben asegurar el recorrido más breve en tiempo y en kilómetros entre dos puntos, pero deben también tocar el mayor número de localidades intermedias. Además, se debe hacer de modo que los radios de curvatura tanto longitudinales como transversales sean lo más grandes posible y que el número de puentes, viaductos y túneles esté limitado y constituido por tramos cortos, con el objetivo del mínimo recorrido primordialmente. Las autopistas no tienen cruces al mismo nivel y deben permitir la parada de emergencia en el arcén derecho.

mente compactadas, a fin de que ésta sea estable.

Drenaje de la carretera Al terminar los trabajos de movimiento de tierras se construyen nuevas zanjas de drenaje poco profundas, alrededor de 1,2 m, para mantener la última capa del desmonte o terraplén libre de aguas que la debilitarían. Se introducen tuberías en estas zanjas y se cubren con grava. Al lado de ellas, se añaden otras tuberías, que conducen las aguas recogidas por los imbornales de la superficie acabada de la carretera.

Construcción de la superficie de rodadura Los períodos de construcción de puentes y túneles deben escalonarse de forma que aquéllos queden terminados antes de iniciar las operaciones de pavimentación. Los trabajos de pavimentación comienzan ajustando la capa superior de la tierra a una tolerancia de 50 mm mediante traíllas o motoniveladoras. Estas máquinas, provistas de ruedas, tienen una cuchilla de acero montada horizontalmente entre las cuatro ruedas, que el maquinista puede bajar, subir o inclinar con precisión a fin de rebajar una superficie hasta la altura precisa.

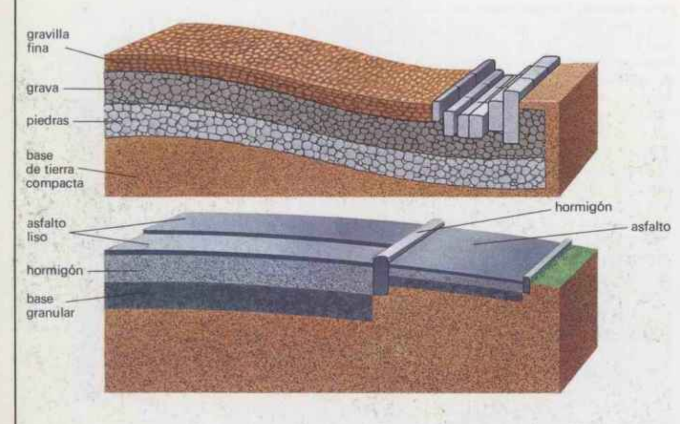
Seguidamente, sobre el lecho de la carretera se extiende una capa de grava o piedra machacada, a fin de aumentar su capacidad de soportar cargas. Otra solución, cuando la tierra es apropiada y los materiales de aporte son difíciles de conseguir, consiste en mezclar una cantidad determinada de cemento seco con la última capa de tierra, para humedecerla luego con agua y hacer que fragüe. Esta operación recibe el nombre de *estabilización del suelo*.

A continuación se extienden encima las capas finales, que pueden ser de hormigón o de materiales de superficie negra (alquitrán, asfalto).

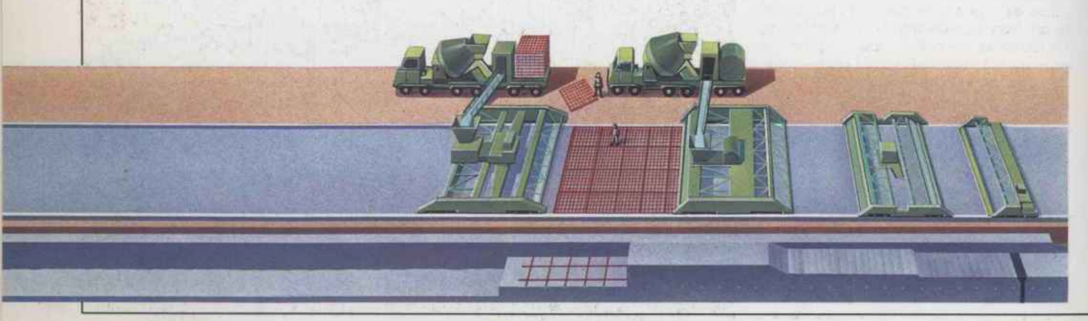
Carreteras asfaltadas El asfalto y la piedra se calientan y amasan juntos. Esa mezcla asfáltica se vierte caliente sobre el suelo por parte de una máquina de pavimentar, que la extiende en una capa uniforme y nivelada. Esta capa se compacta mediante apisonadoras de carretera a fin de formar una superficie firme. La precisión de cada capa sucesiva hasta la capa fina de desgaste (generalmente de asfalto) es lo que otorga a la carretera la superficie de rodadura. El espesor total de mezcla asfáltica debe ser de unos 30 cm. Para mejorar la resistencia al deslizamiento de los vehículos, se extiende sobre la superficie superior una capa de gravilla alquitranada, que se incrusta en ella con un rodillo apisonador mientras todavía está caliente.

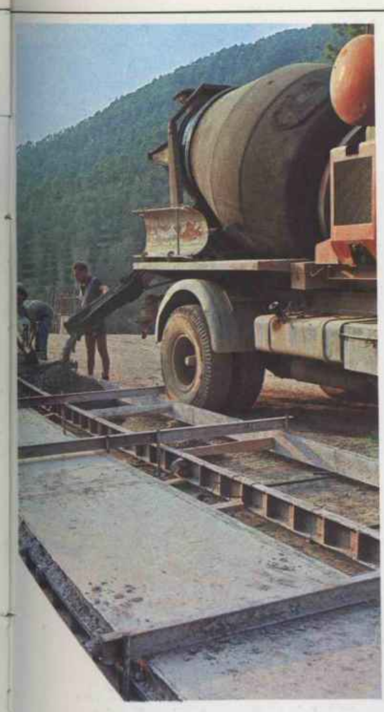
Carreteras de hormigón Si la superficie final ha de ser de hormigón, ésta consistirá en una losa de un espesor aproximado de 25 cm, que variará si se trata de hormigón armado. En la losa deben dejarse junturas cada 4 ó 5 m aproximadamente con objeto de permitir la expansión y contracción del hormigón.

La mezcla del hormigón suele colocarse entre encofrados de acero provisionales, que sostienen los bordes de la losa;



A la izquierda, arriba, pavimento de macadam para caminos de poca importancia y, debajo, un firme bituminoso para arterias principales. El primero se apoya sobre la tierra con una capa de piedras de 10 cm, una de grava y la capa de pequeñas piedras fracturadas. Las cunetas laterales están construidas con bloques de piedra. El perfil tiene la forma de la grupa de un burro. La carretera moderna tiene como base una capa de piedras pequeñas cubierta por 25 cm de hormigón, y sobre él dos estratos de conglomerado bituminoso. El superior es la superficie de rodadura. En el carril de emergencia, la superficie de rodadura se dispone sólo sobre una capa delgada de hormigón y otra de gravilla. Abajo, pavimentación con máquina de una gran carretera. Sobre la parte ya cubierta con piedra compactada un pavimentador esparce una primera capa de hormigón. Mientras está todavía húmedo, se dispone una trama de acero, y después otro pavimentador esparce otra capa de hormigón. La capa de la superficie, rugosa y no resbaladiza, se obtiene con un cemento fluido nivelado.





Arriba, la preparación de una superficie plana para el apoyo de las cabezas de las vigas de hormigón pretensado, que posteriormente serán dispuestas sobre una serie de pilares con una ligera pendiente hacia los túneles que traspasan el cerro (debajo). Las vigas más grandes serán construidas por el mismo contratista, en tanto que las pequeñas suelen ser prefabricadas.

para ello se emplea un tren de hormigonado, que consiste en una serie de máquinas que se deslizan sobre raíles apoyados en los encofrados. Estos, y por lo tanto los raíles, se nivelan con precisión por delante del tren a fin de que la superficie final de rodadura sea completamente plana. La primera máquina del tren es un extendedor que vierte el hormigón entre los encofrados. El hormigón se compacta y ajusta al nivel requerido mediante el paso de las sucesivas máquinas. Para conseguir una superficie no deslizante se cepilla levemente el hormigón todavía húmedo o se marcan surcos poco profundos. En el hormigón tierno se preparan también huecos para instalar dispositivos reflectantes.

Recientemente se han ideado máquinas pavimentadoras de encofrados deslizantes, con las cuales se evita el prolijo procedimiento de colocar con precisión los encofrados metálicos para las losas de hormigón. Dichas máquinas llevan encofrados laterales móviles unidos a la máquina. La intensidad de las vibraciones que compactan el hormigón es muy superior a la de un tren de otro tipo, de forma que después de haberse deslizado el encofrado móvil, de aproximadamente 5 m de longitud, el hormigón reciente se sostiene sin necesidad de soporte lateral. La misma máquina da al hormigón el acabado de la superficie, y controla el nivel y la dirección mediante sensores electrónicos o hidráulicos, que siguen líneas de cordeles colocados a cada lado de la máquina, a lo largo de la superficie de rodadura.

Acabado de las carreteras Una vez terminadas las superficies de rodadura, se llenan los arcenes con tierra y se colocan capas de tierra fértil en los taludes laterales, en los que se plantan árboles y arbustos para protegerlos de la erosión pluvial y eólica. Cuando la seguridad viaria lo exige, se colocan barreras entre las direcciones contrarias del tráfico o en los bordes del arcén, si la altura del terraplén lo justifica. Se colocan elementos reflectantes en las pistas de rodadura para indicar las líneas de tráfico y las entradas tangenciales de otras vías, y se pintan líneas blancas indicadoras. Estas líneas se trazan sobre el firme con una pintura blanca de plástico que contiene pequeñísimas bolitas de vidrio, las cuales producen efecto reflectante. Finalmente, se instalan los postes de alumbrado y de señalización viaria. En las ciudades y zonas donde son frecuentes las nieblas, los puntos de alumbrado se suelen instalar suspendidos de cables anclados lejos del eje viario por razones de seguridad. En los arcenes de las autopistas se disponen, a intervalos regulares, puntos telefónicos para emergencias, así como zonas de descanso con restaurantes, estaciones de servicio, etcétera.

Véase **Asfalto**

Aves

Las aves entraron a formar parte de la vida en la Tierra en época relativamente reciente.

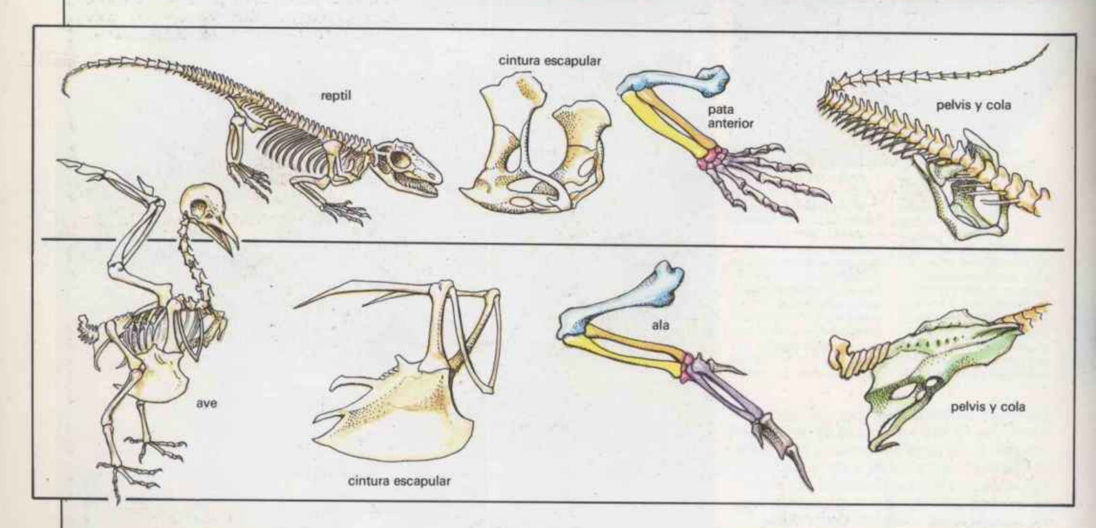
La primera ave de la que se ha encontrado un fósil, el *archaeopteryx*, aparece hace unos 150 millones de años, en una época en la que los reptiles dominaban la Tierra y los pterodáctilos, con su envergadura de alas de 8 metros, eran los únicos vertebrados voladores. El *archaeopteryx* mismo poseía características típicas de los reptiles. Estaba dotado de dientes y de una larga cola provista de vértebras.

Las aves, tal como las conocemos ahora, comenzaron a evolucionar hace 60 a 70 millones de años. Hoy en día las aves son un grupo extremadamente importante y rico en especies. Entre los vertebrados, éstas son los segundos en número (detrás de los peces), con unas 8.600 especies conocidas.

Las aves viven en todas las zonas de la Tierra, desde las aguas polares a los desiertos y a los bosques tropicales, formando comunidades complejas.



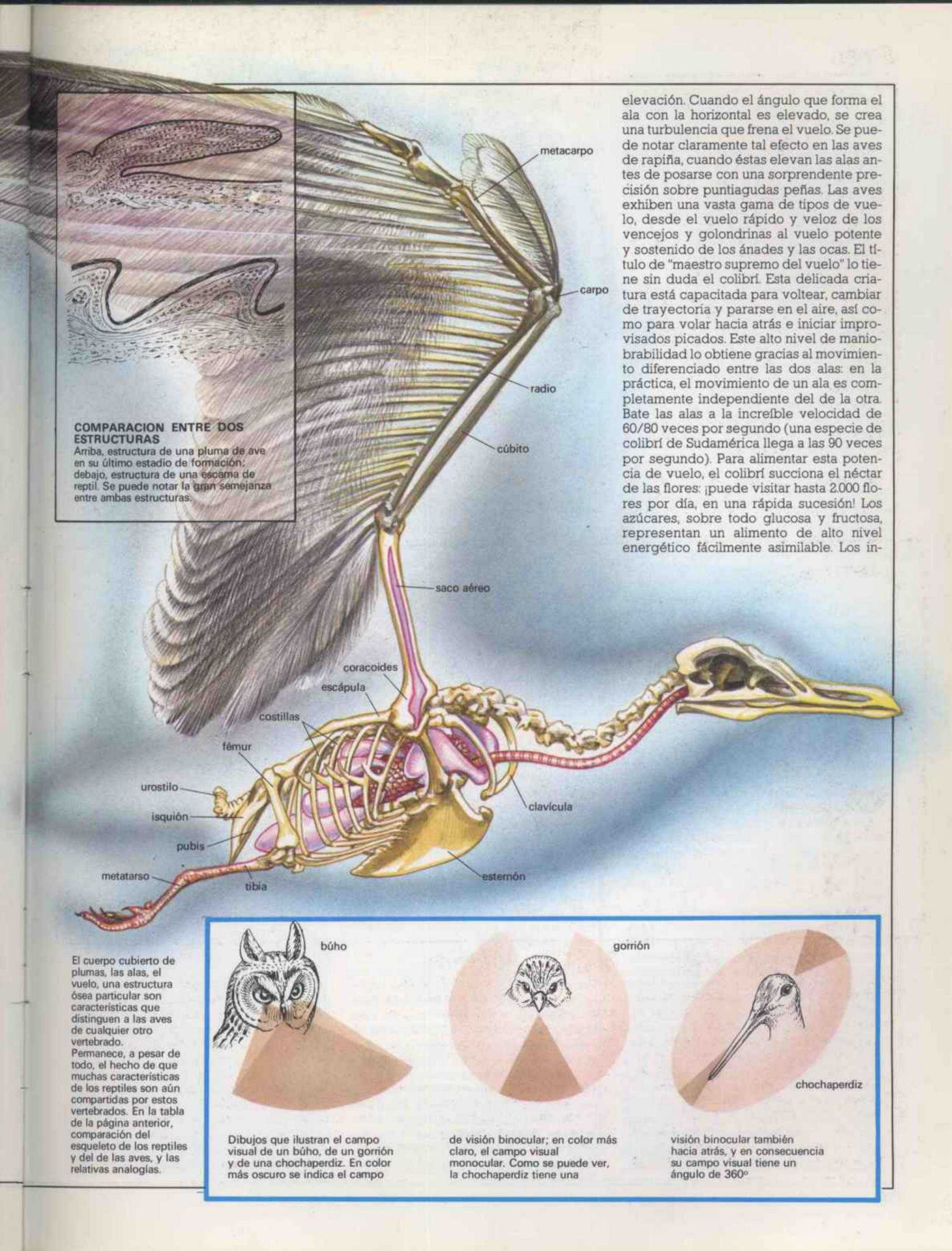
Anatomía de las aves El secreto del éxito de las aves está en la evolución del plumaje polivalente, cuyo origen es igual al de las escamas de los reptiles. Las plumas sirven para cuatro importantes funciones: constituyen una capa aislante en torno al cuerpo, adecuan las alas y las otras partes del cuerpo para el vuelo, impermeabilizan el cuerpo, y, por último, están coloreadas de modo que pueden desarrollar funciones miméticas o —en el momento del cortejo— ornamentales.



Las plumas externas de las alas se imbrican entre sí, mientras que las plumas más pequeñas que están debajo forman la capa aislante principal y constituyen el primer plumaje de los recién nacidos. Para poder garantizar el éxito aerodinámico, el esqueleto de un ave debe ser fuerte pero ligero. Algunos huesos, como los de la región pélvica, se han fusionado entre sí para acentuar la rigidez de la osamenta. Los huesos son ligeros porque están virtualmente huecos, con la excepción de las estructuras de soporte. Amplios sacos aéreos, conectados con los pulmones, contribuyen a darles ligereza y favorecen la entrada eficaz del oxígeno necesario para el vuelo.

El vuelo La potencia propulsora de las aves proviene de la acción de los músculos del vuelo, situados entre los miembros superiores y la quilla o proyección ósea que sale hacia el exterior. Estos músculos pectorales —la carne blanca de la "pechuga"— están divididos en dos partes: una ancha, que efectúa el movimiento de batir el ala hacia abajo, y otra más pequeña, que controla el elevamiento del ala. La estructura misma de las alas permite después el paso del aire sobre ellas, suministrando tanto el empuje como la

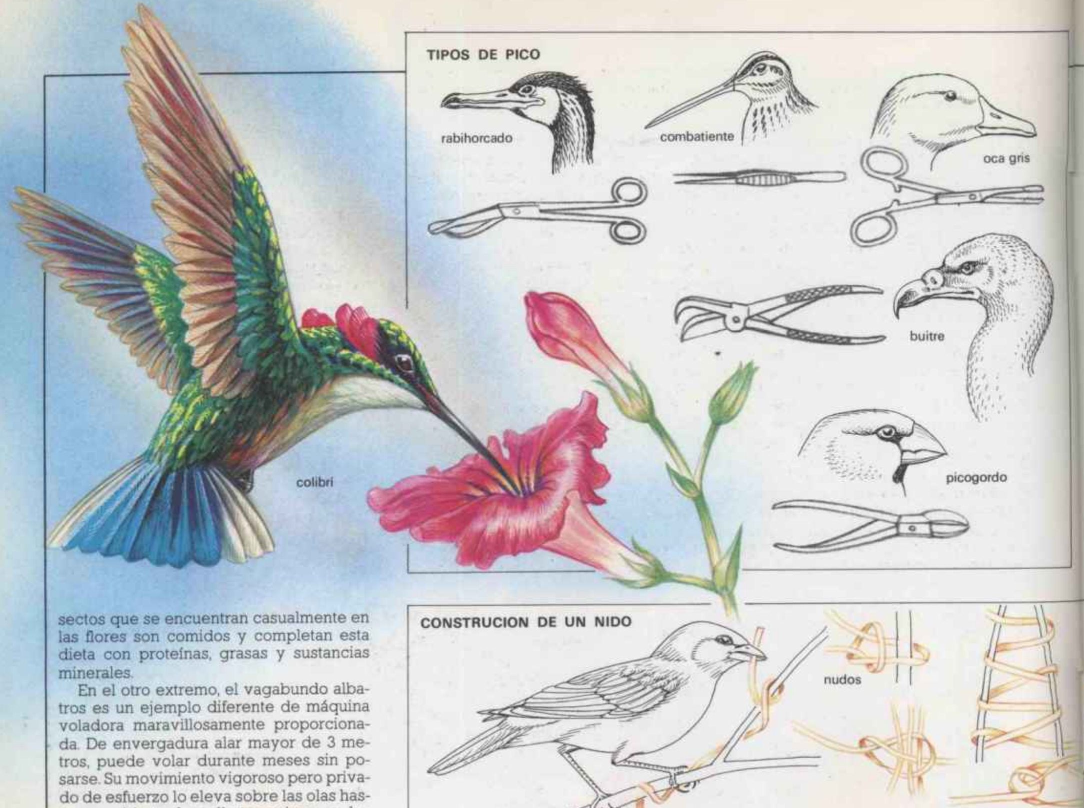
elevación. Cuando el ángulo que forma el ala con la horizontal es elevado, se crea una turbulencia que frena el vuelo. Se puede notar claramente tal efecto en las aves de rapiña, cuando éstas elevan las alas antes de posarse con una sorprendente precisión sobre puntiagudas peñas. Las aves exhiben una vasta gama de tipos de vuelo, desde el vuelo rápido y veloz de los vencejos y golondrinas al vuelo potente y sostenido de los ánades y las ocas. El título de "maestro supremo del vuelo" lo tiene sin duda el colibrí. Esta delicada criatura está capacitada para voltear, cambiar de trayectoria y pararse en el aire, así como para volar hacia atrás e iniciar improvisados picados. Este alto nivel de maniobrabilidad lo obtiene gracias al movimiento diferenciado entre las dos alas: en la práctica, el movimiento de un ala es completamente independiente del de la otra. Bate las alas a la increíble velocidad de 60/80 veces por segundo (una especie de colibrí de Sudamérica llega a las 90 veces por segundo). Para alimentar esta potencia de vuelo, el colibrí succiona el néctar de las flores: ¡puede visitar hasta 2.000 flores por día, en una rápida sucesión! Los azúcares, sobre todo glucosa y fructosa, representan un alimento de alto nivel energético fácilmente asimilable. Los in-



COMPARACION ENTRE DOS ESTRUCTURAS
Arriba, estructura de una pluma de ave en su último estadio de formación; debajo, estructura de una escama de reptil. Se puede notar la gran semejanza entre ambas estructuras.

El cuerpo cubierto de plumas, las alas, el vuelo, una estructura ósea particular son características que distinguen a las aves de cualquier otro vertebrado. Permanece, a pesar de todo, el hecho de que muchas características de los reptiles son aún compartidas por estos vertebrados. En la tabla de la página anterior, comparación del esqueleto de los reptiles y del de las aves, y las relativas analogías.

Dibujos que ilustran el campo visual de un búho, de un gorrión y de una chochaperdiz. En color más oscuro se indica el campo de visión binocular; en color más claro, el campo visual monocular. Como se puede ver, la chochaperdiz tiene una visión binocular también hacia atrás, y en consecuencia su campo visual tiene un ángulo de 360°



sectos que se encuentran casualmente en las flores son comidos y completan esta dieta con proteínas, grasas y sustancias minerales.

En el otro extremo, el vagabundo albatros es un ejemplo diferente de máquina voladora maravillosamente proporcionada. De envergadura alar mayor de 3 metros, puede volar durante meses sin posarse. Su movimiento vigoroso pero privado de esfuerzo lo eleva sobre las olas hasta mar abierto. Los albatros viven en los océanos del Sur, en zonas de vientos muy fuertes, dado que el viento les da la energía necesaria para volar durante tanto tiempo. El albatros aprovecha el gradiente de viento desde una altura de 15 metros, donde la velocidad es elevada, hasta rozar las olas, donde la velocidad del viento se reduce por el rozamiento con la superficie del agua. El albatros planea en bajada hasta casi la superficie del agua, después vira de improviso en el aire para dejarse volver a llevar a la altura en la que estaba.

Los movimientos circulares y sin esfuerzo que describen los halcones son posibles gracias al hecho de que se dejan transportar hacia arriba, hasta grandes alturas, por las corrientes de aire caliente que se elevan desde la superficie terrestre calentada por el Sol. También las gaviotas aprovechan la ventaja de las corriente de aire ascendente. A menudo éstas se lanzan desde un escollo para ser llevadas en el aire por golpes de viento que baten el acantilado y que las empujan hacia arriba.

Para mantener el plumaje en perfecto orden, las aves cumplen una secuencia de operaciones de limpieza. El alisado consiste en extender una grasa, segregada por la glándula uropigial (situada en la base de la cola), sobre las plumas, que se convierten en impermeables. Las aves se lavan frecuentemente en riachuelos, fuentes o, como los gorriones, en charcos.

En algunas aves se observa un comportamiento singular, como, por ejemplo, en el arrendajo, que se coloca alrededor de un hormiguero con las alas extendidas, de modo que las hormigas trepan por su cuerpo. Se piensa que el potente ácido fórmico de estos insectos favorece la caída de las células muertas de la piel y de los parásitos que se adhieren en gran cantidad a las aves.

Técnicas de nutrición Las aves han desarrollado un pico como medio con el que poder alimentarse de diversas especies vegetales y animales. Sólo los musgos y los hongos están completamente ausentes de la dieta de las aves. Cada especie está particularmente orientada hacia una cierta dieta, lo que reduce la competencia con las otras especies. De todas las aves, sólo los miembros de la familia de los cuervos —considerada la más inteligente de todas— tienen una dieta omnívora.

La nececesidad de nutrirse de un modo especializado provoca modificaciones no sólo en el pico, sino también en otras partes del cuerpo.

Los flamencos mantienen sumergidas las patas, parecidas a zancos, en aguas salobres, nutriéndose con algas azules que filtran por medio de un pico desgarbado de una forma muy característica.

La cabeza y el cuello desnudos de los buitres parecen grotescos, pero tienen el fin de permitir la introducción de los picos más profundamente en los esqueletos.

El pico zapata africano es otro especialista. Este extrae peces y ranas del fango de los cenagales con su ancho pico, utilizándolo como sonda.

Comedores de insectos Para muchas aves el alimento más apreciado lo representan los insectos, que son capturados a centenares en pocas horas en la tierra, en el follaje y en el aire. Durante el invierno, los bosques aparecen pobres de vida, y un gran número de aves busca larvas en los troncos para alimentarse. El pico selvático busca en los troncos podridos para procurarse insectos, que recoge con su larga lengua viscosa.

El ágil trepador azul perfora rápida-

mente las cortezas, mientras que el agateador rastrea las fisura de los troncos y de las ramas.

Densos grupos de carboneros exploran las hojas de los árboles perennifolios, y los chochines se sitúan en torno a los troncos para nutrirse con arañas que se encuentran entre las hojas de plantas trepadoras como la hiedra. En Europa los bosques están dominados por los mirlos y los petirrojos, que consiguen su comida escarbando entre las hojas muertas. Los petirrojos se encuentran frecuentemente en los jardines, en busca de lombrices y larvas salidas a la superficie por un golpe de azada.

En primavera, la primera oleada de aves migratorias vuelve hacia los bosques del Norte, y esta es la época de la aparición de muchos insectos voladores y orugas. Gran parte de los gorjeadores tiende a vivir en determinados niveles forestales o, particularmente, sólo entre ciertos árboles. El ruiseñor del mirto, de Norteamérica, vive preferiblemente en bosques de coníferas, donde se nutre de insectos y nidifica. Cuando estas aves migran nuevamente hacia el Sur, comienzan a nutrirse de bayas de arrayán y de otros arbustos similares, muy comunes en el sector oriental de los Estados Unidos.

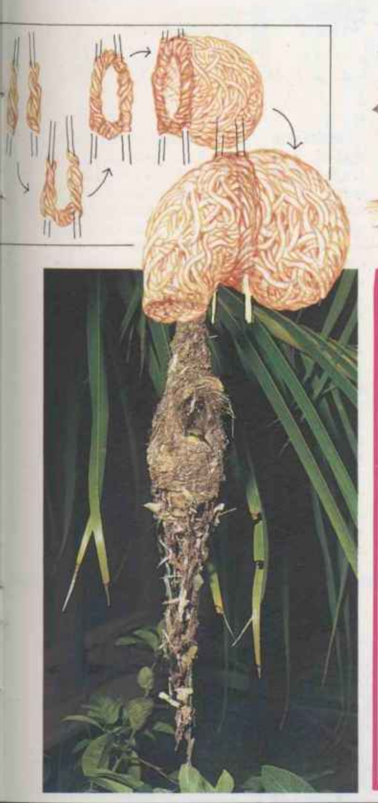
Aves de presa Las aves de presa, con su aspecto fiero y su vuelo poderoso, han ejercido siempre una notable fascinación sobre el hombre. Estas han sufrido durante mucho tiempo persecuciones del todo injustificadas, debidas tal vez a la idea de que pudiesen atacar al ganado. A menudo usadas como ayuda en la caza, las aves de presa (o *rapaces*, como con frecuencia se llaman) tienen una vista aguda, un pico muy potente y fuertes garras. Una de las más espectaculares es el halcón común, que avista su presa desde lo alto y se lanza sobre ella a la increíble velocidad de 250 kilómetros por hora.

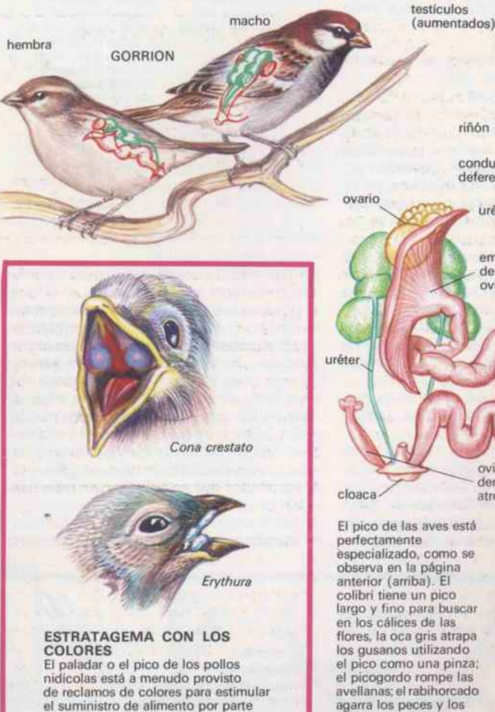
El aguila pescadora está especializada en la caza y captura de peces: vuela lentamente batiendo las alas pesadamente sobre la superficie de los lagos, y puede atrapar ágilmente peces de 2 kilos.

El águila culebrera apresa sólo reptiles, se cierne a gran altura y se lanza sobre las serpientes, hasta que las caza de un certero picotazo en la nuca.

Muchas de las más espectaculares aves de presa están en peligro de extinción por la falta de un hábitat adecuado y por el incontrolado uso de los insecticidas. Sólo algunas especies, que toleran las importantes alteraciones del ambiente provocadas por el hombre, están en aumento. Entre éstas, las gaviotas, que pueden nutrirse de desechos, o las cornejas cenicientas, que están capacitadas para adaptarse rápidamente a un regimén alimenticio diferente. También el cernícalo está en aumento. Esta rapaz se ve hoy más frecuentemente en Europa, mientras da vueltas durante la caza en las cercanías de los laterales con hierba de las mayores autopistas. Este miembro de la familia de los halcones caza principalmente ratones y pequeños roedores; se estima que captura cerca de 300 roedores al año, además de insectos y pequeñas aves.

Aves fitófagas Las aves que se nutren de las diversas partes de las plantas constituyen un gran grupo. Los bosques tropicales en especial albergan muchas especies ricas en ejemplares de vivos colores. Tucanes, papagayos y otras aves vuelan en pequeños grupos de un árbol a





ESTRATAGEMA CON LOS COLORES
El paladar o el pico de los pollos nidícolas está a menudo provisto de reclamos de colores para estimular el suministro de alimento por parte de sus padres. Arriba, manchas a los lados del paladar, y abajo, nódulos perlinos a los lados del pico de un *Erythura*

El pico de las aves está perfectamente especializado, como se observa en la página anterior (arriba). El colibrí tiene un pico largo y fino para buscar en los cálices de las flores, la oca gris atrapa los gusanos utilizando el pico como una pinza; el picogordo rompe las avellanas; el rabihorcado agarra los peces y los retiene con su punta curvada; la abubilla cava en los agujeros de los gusanos y las rapaces parten los huesos con su potente pico. Si en el largo camino de la evolución se ha alcanzado una anatomía tan especializada, no debería sorprendernos la perfecta construcción de un nido (en el centro), auténtico trabajo arquitectónico. Largos hilos de hierba, hojas y otros materiales son usados de modo diverso. Sobre estas líneas, aparato genital masculino y femenino de las aves.
En la foto, un curioso nido péndulo.



otro, alimentándose con frutos que maduran durante todo el año.

En las áreas templadas, frutos y bayas representan un alimento estacional, dado que la última cosecha se da antes del invierno. En el tardío otoño los picoteros del cedro, originarios de América del Norte, viajan hacia el sur, hasta Panamá, en busca de árboles cargados de bayas. Las aves que se alimentan de semillas, como los pinzones, recurren a vivir en grandes comunidades. En estos casos, muchas especies se pueden asociar y formar densas bandadas que vuelan sobre amplias áreas en busca de alimento.

Las plumas de las aves se dividen en *remeras* (las grandes plumas de las alas), *timoneras* (las grandes plumas de la cola), *coberteras* (las que recubren el cuerpo) y *plumones* (que se encuentran en las crías y en el vientre de los adultos). Las coberteras son semejantes en su estructura a las remeras y timoneras, pero tienen barbas libres y son menos rígidas. Las barbas de los plumones están sueltas y parten todas del mismo punto. Las plumas de la base del pico y de las patas son las *vibrisas*.

Comportamiento durante la reproducción El ciclo reproductivo anual de las aves comprende una serie de actividades programadas, desde el cortejo primaveral a la construcción del nido y al cuidado de los pequeños. El crecimiento estimula el proceso de producción de hormonas sexuales; el plumaje adopta colores más vivos y se vuelve brillante y suave. A menudo es el macho el que luce su librea para atraer a la hembra.

También el canto es un elemento importante en el cortejo, y se usa tanto para atraer a la hembra como para advertir a las otras aves al acercarse al territorio elegido para el apareamiento. El cardenal de América del Norte y el petirrojo europeo son particularmente belicosos al defender sus territorios.

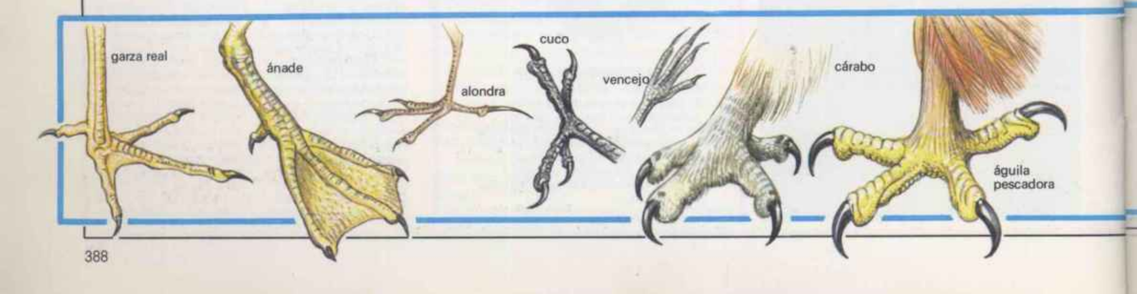
No existen dos especies de aves que construyan el mismo tipo de nido o depositen huevos idénticos.

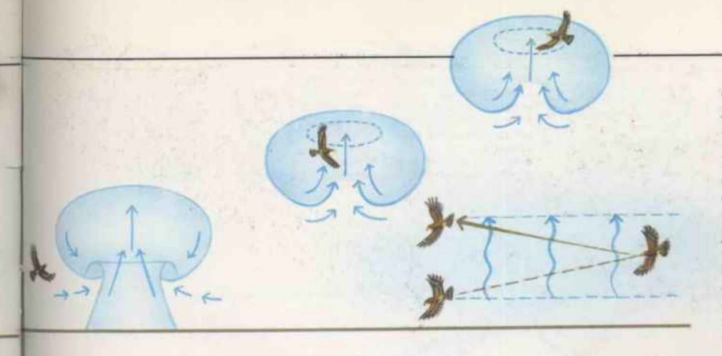
Algunas aves ni siquiera construyen un nido; por ejemplo, el pájaro bobo emperador incuba los huevos entre sus propias patas. Los huevos de aves marinas, como el arao negro, tienen forma de pera, de modo que no puedan rodar por los escollos. La gallina australiana cubre sus huevos de vegetación y de tierra: los vegetales, al fermentar, suministran el calor necesario para la incubación. Las construcciones elaboradas por los tejedores africanos y por los pájaros moscón europeos, suspendidas en el extremo de una rama, están finamente tejidas.

Un aspecto interesante del comportamiento durante la reproducción es el que se refiere a las aves que no construyen nido propio y no cuidan a sus pequeños. Más de ochenta especies están clasificadas como verdaderos y auténticos parásitos que colocan sus huevos en nidos de otras aves; además, existen como mínimo otras veinte especies que ocasionalmente ponen huevos en los nidos de las aves vecinas. Uno de los casos más estudiados de estas curiosas aves es el representado por el cuco europeo, notable por parasitar los nidos de cerca de 300 aves. El cuco coloca sus huevos por lo general en un nido de la misma especie que lo ha criado a él.

Migración En el Medievo se creía que las aves invernaban, aletargadas, en los fangos del fondo de los lagos y de los estanques, como las ranas. Naturalmente, no es así, pero algunas aves nocturnas originarias de California han sido encontradas en estado de entumecimiento al final del invierno. Algunos ejemplares encuentran cobijo en fisuras de las rocas, y vuelven a su ritmo normal de actividad con la llegada del tiempo cálido de la primavera.

Este comportamiento es, a pesar de todo, una excepción, dado que muchas aves suelen evitar esta difícil estación recurriendo a la migración. No obstante el hecho de que se conozcan ya bastante bien las rutas seguidas por las aves durante la migración, no está aún bien aclarado cómo pueden encontrar la ruta. La posición del Sol y de las estrellas y el campo magnético terrestre son factores fundamentales, pero cómo las aves pueden percibir y elaborar tales informaciones continúa siendo un misterio.





Para cernerse en vuelo y para desplazarse en el aire, las aves siguen en parte las corrientes naturales, las columnas térmicas ascendentes que suben de la tierra y del mar. Esto es así para evitar un derroche de energías y para aprovechar al máximo velocidad y frenada. En los dibujos superiores, el aire caliente, más ligero, sube hacia arriba y forma una especie de "bolsa", en el interior de la cual se tiene un movimiento relativo. El ave aprovecha la corriente térmica y no tiene necesidad de mover las alas, subiendo a lo largo de la columna

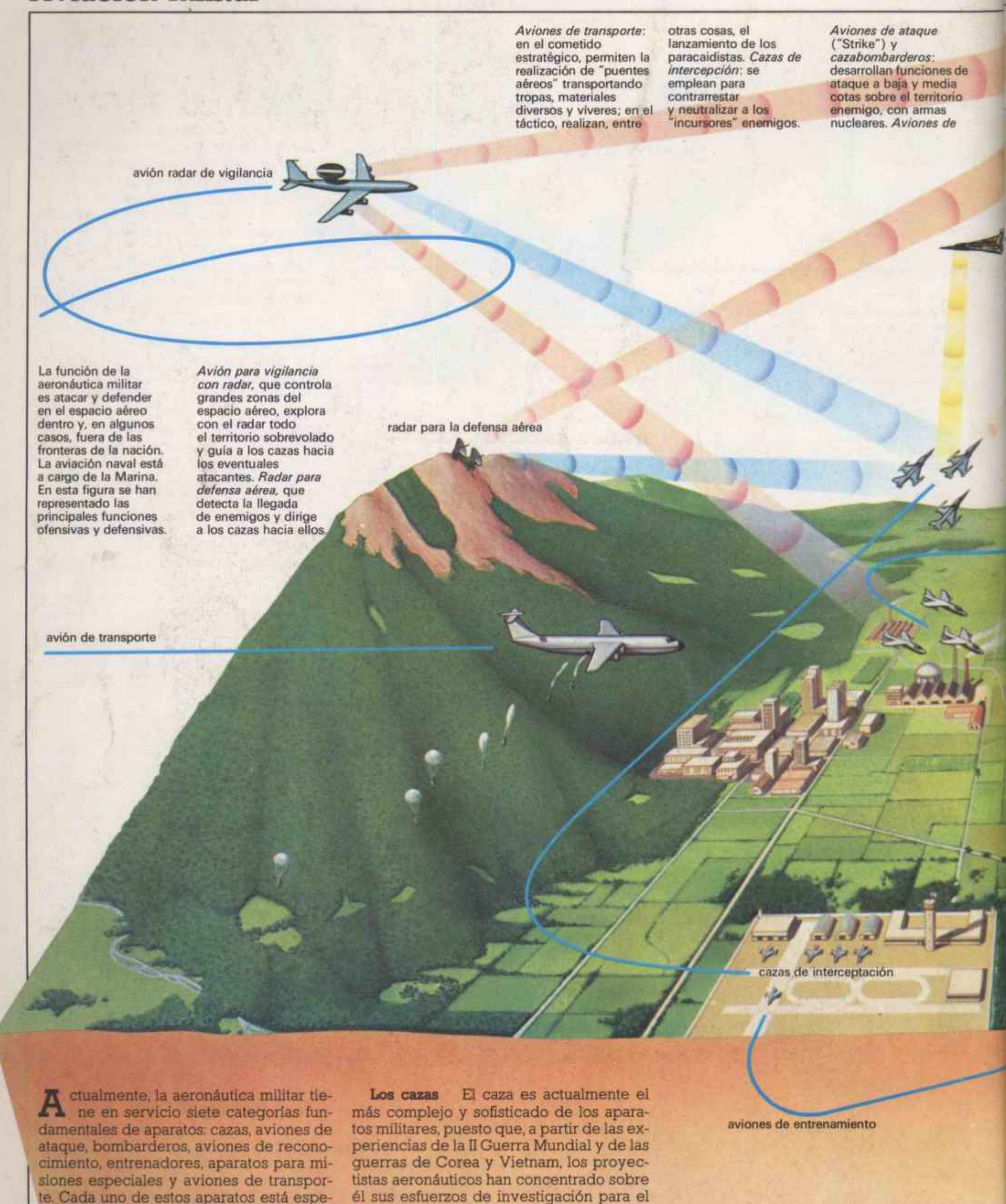
El viajero por excelencia es el charrán ártico, con un récord de 22.500 km de viaje de un solo golpe entre Rusia ártica y Australia. El segundo, por poco, es la agachadiza de cola blanca, con su viaje entre los mares del Canadá y la Tierra del Fuego, el extremo más meridional de América del Sur. En Europa, los últimos días del verano ven una gran cantidad de vencejos gorjeando insistentemente sobre los cables de los tendidos eléctricos, preparados para su larga migración. Muchos de ellos no llegarán nunca a su destino, vencidos por el cansancio y la falta de alimento. Otro peligro es el halcón de Eleonor, un ave que nidifica durante el otoño y caza los pequeños migradores que pasan a través de Europa hacia el Sur.

Véase **Ala de animal; Archaeopteryx; Zoología y zootecnia**

combatiente
chorlito dorado
mosquitero musical siberiano
tángara roja
págalo
chorlito dorado
cuco
mosquitero boreal
cigüeña blanca
charrán ártico
cigüeña blanca
charrán común
pardela capirotada
charrán ártico
perdiz nival
buitre

A la izquierda, patas especializadas de aves. Arriba, mapa de las migraciones. Millones de aves emprenden cada año viajes de un continente a otro. El recorrido en kilómetros desde la zona de nidificación a la de invernada es a veces asombroso. Por ejemplo, la pardela capirotada recorre hasta 15.000 km; el chorlito dorado del Pacífico, el vencejo cola espinosa y el mosquitero, hasta 13.000 kilómetros.

Aviación militar



Actualmente, la aeronáutica militar tiene en servicio siete categorías fundamentales de aparatos: cazas, aviones de ataque, bombarderos, aviones de reconocimiento, entrenadores, aparatos para misiones especiales y aviones de transporte. Cada uno de estos aparatos está especializado en las tareas que le han sido encomendadas, y tiene características peculiares.

Los cazas El caza es actualmente el más complejo y sofisticado de los aparatos militares, puesto que, a partir de las experiencias de la II Guerra Mundial y de las guerras de Corea y Vietnam, los proyectistas aeronáuticos han concentrado sobre él sus esfuerzos de investigación para el logro de nuevas soluciones aerodinámicas, constructivas y de propulsión.

Desde el período de la postguerra has-

reconocimiento: exploran el territorio enemigo mediante tomas fotográficas y observaciones por infrarrojos o electrónicas, a la búsqueda de posibles blancos que indicar a las fuerzas de ataque. *Aviones antitanque*: son aviones de ataque "especializados" en la lucha contra vehículos blindados. *Bombarderos*: son "incursores" de alta cota que llevan una notable carga ofensiva (incluso nuclear); los de la última generación operan preferentemente a baja cota. *Aviones de entrenamiento*: se emplean para formar a los nuevos pilotos y entrenarlos en las distintas tácticas de combate y navegación. *Aviones para la lucha antisubmarina*: son aviones que, mediante medios de búsqueda de varios tipos, se encargan de descubrir a los submarinos enemigos, neutralizándolos con el empleo de armas altamente sofisticadas.

Lo que se ha representado en este trozo de cielo alrededor de una base aérea da una idea de la complejidad de las actividades en su entorno. De hecho, la base debe encargarse no sólo del despegue y retorno de los aviones, sino también de su reabastecimiento, de la organización de los servicios meteorológicos, logísticos, de transporte a tierra de los abastecimientos, de la compra de combustible, de la gestión de los repuestos, de la enseñanza de las técnicas de mantenimiento al personal de tierra, del mantenimiento de los equipos para el control de los equipos embarcados, del mantenimiento general, y así sucesivamente. Por esta razón una base aérea es comparada a menudo, por su complejidad, con una gran industria.

ta hoy se han ido alternando varias tendencias —a veces contradictorias— en materia de cazas: los cazas puros, los polivalentes, los exclusivamente "lanzamisiles", los pesados, los ligeros y los "supermaniobrables".

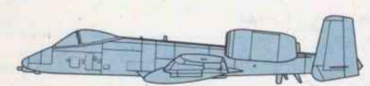
Son precisamente las dos últimas "filosofías" de proyecto mencionadas las que han originado los cazas de los años setenta y ochenta y han indicado además las pautas de desarrollo para los de los años noventa y sucesivos. Son ejemplos de ellos el *General Dynamics F-16 Fighting Falcon*, en servicio en algunas fuerzas aéreas de la OTAN, en la americana y en la israelí; el *Northrop F-5G Tigershark*, el *Mirage 2000*, el *Kfir* israelí (derivado del *Mirage M-5*) y varios otros aparatos hoy en fase de estudio.

Los cazas actuales representan lo que

APARATOS EMPLEADOS POR LA AVIACION MILITAR

a) *Dassault Mirage 2000*

Dassault Breguet (Francia-1978): caza polivalente; velocidad máx., 2.336 km/h a 1.600 m de altura; autonomía, 1.500 km; armamento, 2 cañones de 30 mm.



b) *Fairchild Republic A-10A Thunderbolt II*

Fairchild Rep. Co. (EE UU-1975); avión de ataque; velocidad máx., 722 km/h; autonomía, 1.000 km; armamento, 1 cañón de 30 mm; 7.257 kg de carga bélica; tripulación, 1 persona.

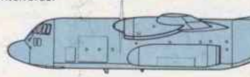


c) *Rockwell International B-1*

Rockwell Int. (EE UU-1974); bombardero; velocidad máx., 2.125 km/h a 15.240 m de altura; autonomía, 9.815 km; 52.072 km con tanques suplementarios exteriores.

d) *Lockheed C-130 Hércules*

Lockheed Aircraft Corp. (EE UU-1965); avión de transporte pesado; velocidad máx., 618 km/h; autonomía, 9.072 km con tanques suplementarios exteriores.



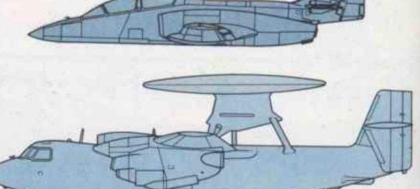
e) *Lockheed SR-71 Blackbird*

Lockheed Aircraft Corp. (EE UU-1964); avión de reconocimiento; velocidad máx., 3.220 km/h a 2.400 m de altura; autonomía, 4.800 km; tripulación, 2 personas.



f) *C.A.S.A. C-101*

Construcciones Aeronáuticas, S. A. (España-1978); avión de entrenamiento; velocidad máx., 796 km; autonomía, 3.700 km; 2.150 kg de carga bélica; tripulación, 2 personas.



g) *Grumman Hawkeye E-20*

Grumman American Aviation Co. (EE UU-1964), avión de vigilancia por radar; en altura V; velocidad máx., 602 km/h; autonomía, 2.736 km; 20.675 kg de carga útil.

se viene llamando "un sistema de armas integrado", es decir, un aparato en el cual la automatización —posible gracias a computadoras en miniatura de elevadísima tecnología— permite al piloto volar y combatir valiéndose de "programas" codificados de antemano, de un modo muy simplificado. Radar de altísimas prestaciones, sistemas de tiro y aparatos de navegación dirigidos por computadora proporcionan a los cazas actuales posibilidades de empleo insospechadas hace tan sólo unos pocos años.

Un caza típico de nuestros días es el *Mc Donnell-Douglas F-15 Eagle*. Propulsado por dos reactores de elevada potencia, el *F-15* alcanza una velocidad superior a Mach 2,5, que corresponde a dos veces y media la velocidad del sonido (casi 3.000 km/h). Puede subir a 30.000 metros en 3 minutos, 27 segundos y 8 décimas: un récord imbatido aún. El armamento está constituido principalmente por misiles: lleva cuatro misiles aire-aire *Sidewinder AIM-9L*, cuatro misiles aire-aire *Sparrow AIM-7F* y un cañón de 20 mm de seis bocas rotativas con 940 disparos.

El radar de que dispone el *F-15* localiza y sigue cualquier tipo de objetivo desde el nivel de las copas de los árboles hasta las máximas alturas. Una computadora, conectada al radar, analiza todas las informaciones relativas al objetivo, las elabora y sugiere al piloto el modo más eficaz de combatirlo. En los combates aéreos, estas informaciones y las relativas a la ruta a seguir y a la situación del aparato se muestran al nivel de los ojos del piloto con un dispositivo llamado *headup-display*, en el cual estas informaciones vienen indicadas por medio de símbolos gráficos de fácil lectura, para que apenas sea necesario apartar la vista del objetivo.

Avión de ataque Por avión de ataque se entiende un avión que desempeña toda una serie de tareas que van desde el apoyo a las fuerzas de tierra hasta la interceptación "todo-tiempo" —es decir, incluso de noche o con mal tiempo— o la lucha antitanque.

El avión de ataque moderno es un aparato con un poderoso armamento, caracterizado por una gran resistencia (para resistir a la "contraaviación" enemiga, es decir, a todos los tipos de armas antiaéreas del atacado) y dotado de unos equipos de aviónica muy complejos: dirección y control de tiro, sistemas de mira, radar de tiro, sistema de navegación, todo controlado mediante computadoras.

Hay varios tipos de aviones de ataque: 1) ligeros, relativamente simples, como el *A-4 Skyhawk* o el *A-7 Corsair II*; 2) pesados y "todo-tiempo", capaces de alcanzar altas velocidades con gran autonomía, como el europeo *MRCA Tornado*; 3) "especializados" en un específico tipo de ataque, como el *A-10* —sucesor moderno del *Stuka* alemán de la II Guerra Mundial—, proyectado específicamente para la destrucción de vehículos acorazados.

Los bombarderos Aunque los misiles balísticos intercontinentales los hayan desbancado como arma estratégica fundamental de gran poder, los bombarderos deben desempeñar aún un papel de primer plano, no sólo como reserva móvil estratégica, sino sobre todo como arma de disuasión; de hecho, tanto los Estados Unidos como la Unión Soviética están en condiciones de mantener permanentemente en vuelo un destacamento de bombarderos capaz de soltar en cualquier momento y en cualquier punto del planeta su cargamento de bombas atómicas. El bombardero americano *Boeing B-52 Stratofortress*, sucesor de las "fortalezas voladoras" de la II Guerra Mundial, queda, después de más de un cuarto de siglo, como un típico ejemplo de moderno bombardero intercontinental. Equipado para transportar bombas de hidrógeno, el *B-52* tiene una autonomía de hasta 20.000 km. Valiéndose de su radar, puede soltar su carga de bombas sobre el objetivo con extremada precisión, independientemente de las condiciones atmosféricas. Gracias a la posibilidad de reabastecerse en vuelo, su radio de acción es prácticamente ilimitado. La última generación de bombarderos estra-





En la página anterior: a) avión de intercepción o "caza polivalente"; b) avión para el ataque al suelo de concentraciones de tropas, de vehículos acorazados y de cualquier otro tipo de blancos "protegidos"; c) avión de bombardeo estratégico supersónico, destinado al transporte de armas sofisticadas, a menudo misiles de crucero o de cabeza nuclear de poco radio de acción; d) avión de transporte pesado para el apoyo logístico; e) la afilada silueta de un avión de reconocimiento trisónico de muy alta cota; f) avión de entrenamiento avanzado, con capacidad de ataque; g) avión para la vigilancia por radar. En esta página, arriba, la delicada operación de contacto del tubo de reabastecimiento con el avión "hijo". El almacenamiento de aviones en los barcos exige que las extremidades alares puedan ser plegadas hacia arriba, volviendo en un tiempo muy breve a la posición operativa en caso de alarma. Abajo, embarcado, un típico avión para la guerra electrónica.

Military Aircraft of the World, Yama-Key Publishers-Tokyo-Japón

tégicos está representada por el *Rockwell B-1*, el bombardero supersónico de "geometría variable" que ha marcado una etapa fundamental en la evolución de este tipo de aparatos militares. Es capaz, por su sistema de navegación de avanzada tecnología, de desempeñar su misión de ataque a baja cota, para poder escapar a los radares adversarios y alcanzar el objetivo por sorpresa y con gran precisión.

Los aviones de transporte Al hablar de los "cargo" militares es necesario hacer distinción entre vectores tácticos y vectores estratégicos. En el primer caso, se trata de aviones de dimensiones relativamente limitadas, con buenas características de despegue y aterrizaje cortos, capaces de transportar cargas logísticas o soldados a distancias del orden de 1.000 ó 2.000 km. Estos aparatos están además preparados para el lanzamiento de paracaidistas y de cargas con paracaídas que se sueltan a muy poca altura (algunos metros), según una técnica iniciada por los *C-130 Hércules* en Vietnam.

En el caso de los aviones de transporte estratégico, nos encontramos frente a verdaderos colosos del aire, como el *Lockheed C-5A Galaxy*, el mayor avión del mundo. Aparatos como el *C-5* o el soviético *Antonov An-22 Antei* se destinan al transporte de batallones enteros o de cargas de material, vehículos y piezas de artillería de particular valor estratégico.

Los aviones de reconocimiento El reconocimiento aéreo ha sido la primera tarea confiada a la aviación militar, desde el comienzo de la I Guerra Mundial. Desde entonces, cuando se realizaban simples observaciones visuales o todo lo más se sacaban algunas fotos panorámicas desde globos, esta "especialidad" ha evolucionado mucho.

Actualmente, los progresos de la electrónica y de la óptica han permitido confiar a los aviones de reconocimiento tareas de carácter cada vez más estratégico.

Desde la "crisis de Cuba" al *U-2* de Powers derribado sobre la URSS, el avión de reconocimiento moderno ha adquirido cada vez más un valor inclùso "político", convirtiéndose en un válido instrumento de control recíproco en las manos de las grandes potencias.

También en el campo de los aviones de reconocimiento la distinción entre tácticos y estratégicos ayuda a comprender los cometidos y características de estos aparatos. Un avión de reconocimiento táctico puede ser un caza bajo cuyas alas se han colocado unos *pod* (contenedores con forma aerodinámica), en cuyo interior se pueden montar máquinas fotográficas, sensores de infrarrojos y cualquier otro tipo de instrumentos útiles para el examen de limitadas porciones de territorio. Entre los aparatos de reconocimiento estratégico de altas prestaciones puede mencionarse al trisónico americano *Lockheed SP-71 Blackbird*, capaz de fotografiar un paquete de cigarrillos desde 30.000 metros de altura.

Entrenadores Actualmente, el entrenamiento para el pilotaje de los aviones militares se realiza en dos etapas: el entrenamiento "básico", durante el cual el alumno-piloto aprende a volar, y el "avanzado", en el cual el piloto aprende a combatir y a desempeñar todas aquellas misiones a las que estará destinado una vez que entre a formar parte del servicio operativo.

Los aviones de entrenamiento deben poseer particulares cualidades, como, por ejemplo, una excelente visibilidad para el alumno y para el instructor, buenas características acrobáticas —fundamental en la formación del piloto— y la posibilidad de ser empleados (naturalmente con ciertas limitaciones) como aviones de combate, permitiendo así que aeronáuticas militares "menores" dispongan también de un pequeño avión de ataque.

Aparatos de misiones especiales Además de los cazas, los bombarderos y los aviones de ataque, existe toda una familia de aviones destinados a empleos secundarios pero no menos importantes: son los *AWACS*, los aviones para la guerra electrónica, los aviones de vigilancia marítima, los aviones para localización de objetivos, y otros. Los *AWACS* (iniciales de la denominación en inglés *Airborne Warning And Control System*, o sea: sistema aerotransportado de localización y control) son grandes aviones dotados de sofisticados equipos electrónicos y de radar capaces de vigilar en amplias zonas todo lo que vuela o se desplaza en el suelo.

El *AWACS* por excelencia es el *Boeing E-3A Sentry*, que ha sido el centro de las tensiones internacionales durante los últimos años, realizando toda una serie de patrullas en las zonas "calientes" de Europa, del Mediterráneo y del Oriente Medio. El *Sentry* puede ser empleado también como un verdadero puesto de mando volante, dando cabida a bordo a un completo sistema de comunicaciones incluso vía satélite.

Los aviones para la "guerra electrónica" son aparatos dotados de sistemas capaces de interferir las comunicaciones por radio y el radar enemigos para permitir a los aparatos amigos operar eficazmente.

Los aviones de reconocimiento marítimo operan en las extensiones oceánicas, realizando funciones de vigilancia de los movimientos navales enemigos, o funciones de lucha antisubmarina.

Los aviones para localización de objetivos son, en la práctica, aparatos de reconocimiento adaptados para la exploración de áreas en las que deberán operar las fuerzas ofensivas terrestres.

Véase **Avión de intercepción; Avión de transporte ligero y STOL; Avión de transporte pesado; Bombardero; Cazabombardero**

Avión

El avión es una máquina que no admite soluciones de compromiso.

Cuando Wilbur y Orville Wright probaron en 1903 su primer *Flyer* entre las dunas de Kitty Hawk, en Carolina del Norte, lo arriesgaban todo a una carta. Podían volar o no volar, sin otras alternativas; si hubiesen conseguido levantar el vuelo, habrían tenido que aprender inemediatamente cómo volar con seguridad, o se habrían estrellado. El avión no conoce términos medios.

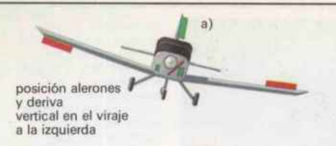
Para justificar tales riesgos, los posibles resultados deben ser de un interés verdaderamente notable. El avión es un medio de transporte, y rara vez en la historia de los transportes otro medio ha encerrado en sí potencial tan grande. El avión prometía velocidad y conveniencia, junto con la posibilidad de alcanzar lugares lejanos; prometía anular obstáculos como montañas, océanos y desiertos. Pero, en aquella fría mañana de diciembre de 1903, pocos habrían creído que también prometía nuevos mundos.

Siempre ha sido un sueño del hombre el poder volar como un pájaro, deslizándose sin esfuerzo en el aire como un águila. Pero los aviones de alas batientes —llamados *ornitópteros*— nunca estuvieron en condiciones de volar. Ninguna máquina construida por el hombre podía competir con los poderosos músculos pectorales de los pájaros. Y fue por un camino muy distinto por el que pudo realizarse este ancestral sueño del hombre.

El empuje decisivo vino de la acción del viento en la superficie curva de un ala. Sobre la cara superior se origina, debido a la velocidad del aire, una depresión relativa: fuerza capaz de levantar el avión. Pero para crear esta fuerza, para crear el viento que la origina, es necesario que el avión se desplace hacia adelante.

Vuelo en aviones abiertos Los primeros aviones que lograron volar con éxito eran pequeños y ligeros; volaban a velocidades tan bajas que el piloto y los pasajeros —cuando los había— se sentaban en el exterior del aparato, casi siempre en las alas. Para estos primeros aparatos las aplicaciones prácticas eran más bien escasas. Sin embargo, en 1911 un biplano de los hermanos Wright realizó el primer vuelo a través del continente americano: un vuelo interrumpido por frecuentes aterrizajes forzosos y retrasos, pero que llevó al piloto, Calvin Galbraith Rodgers, desde un océano al otro, demostrando que los posibles empleos del avión no eran solamente un sueño.

Con la I Guerra Mundial surgieron nuevas exigencias, que proporcionaron el empuje definitivo para la consolidación de este nuevo medio de transporte. Al principio, los aparatos de la época entraron desarmados en las operaciones bélicas, limitándose a sobrevolar el campo de batalla para observar los movimientos de las tropas enemigas, para dirigir el ataque de la artillería y para trazar mapas de las

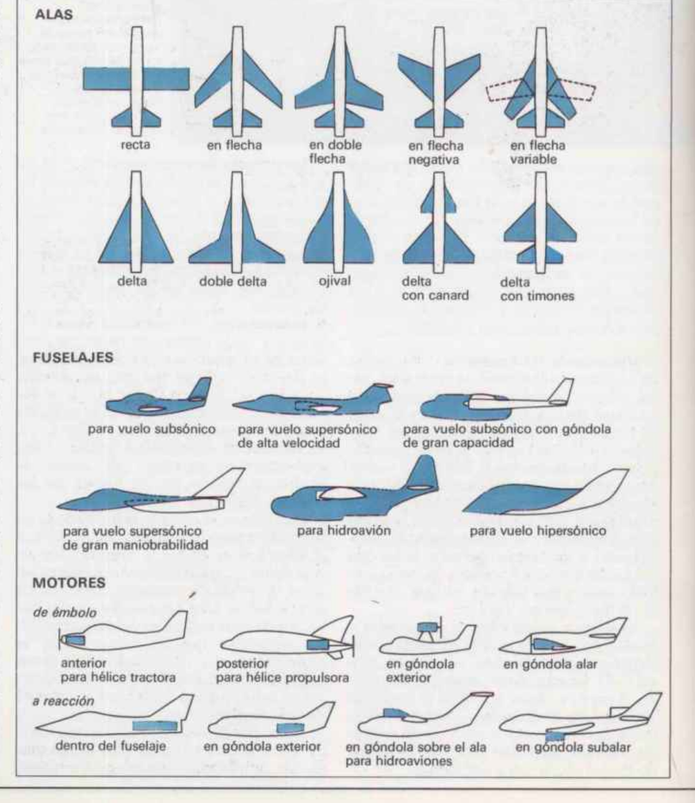


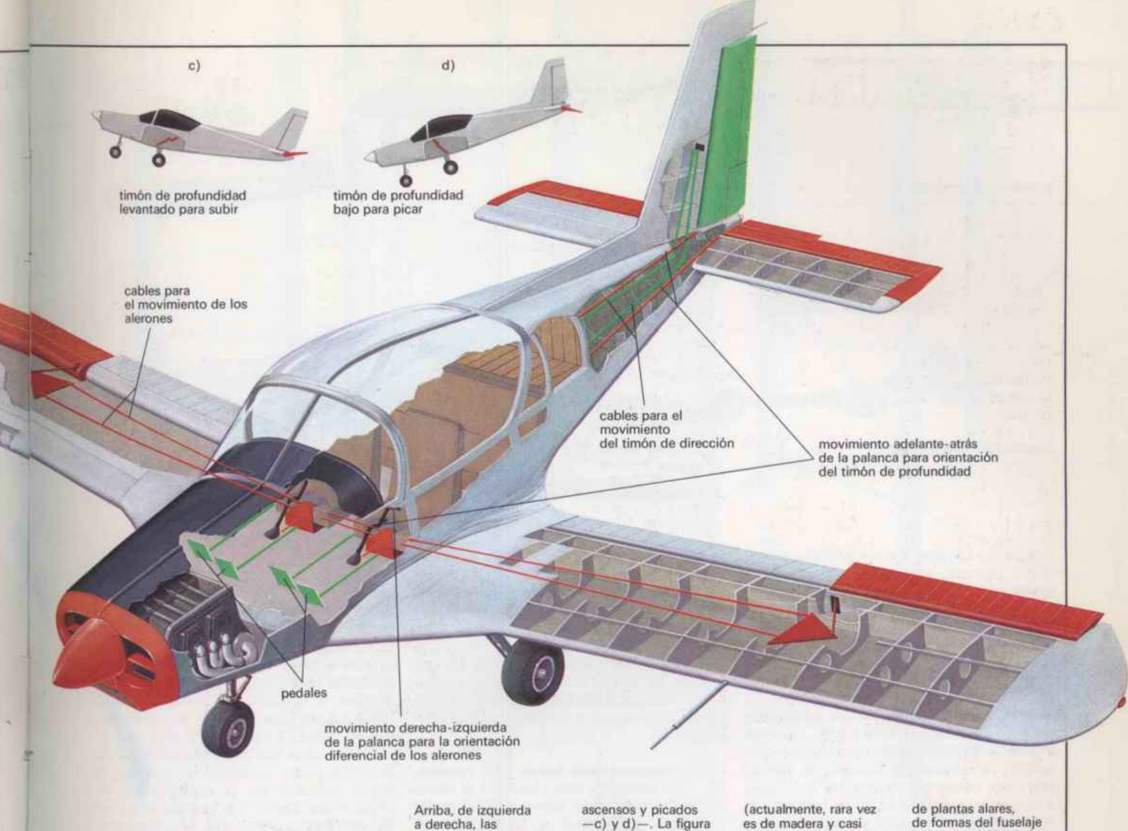
posición alerones y deriva vertical en el viraje a la izquierda

posición alerones y deriva vertical en el viraje a la derecha



El vuelo no es un problema con solución única, como lo demuestran las variadísimas formas de todos los seres vivos que vuelan y las de las máquinas voladoras construidas por el hombre. Son tres los problemas que hay que resolver: el primero es el de la potencia necesaria para sostenerse. Hace falta mucha, pero además cada kilogramo que se añade exige más potencia, tanta cuanto mayor sea el peso total del aparato. Por esta misma razón los pájaros pequeños son buenos voladores, y los grandes deben aprovechar las corrientes de aire y tienen dificultades para elevarse. En los aviones tal cuestión se ha resuelto por medio de motores mecánicos. El segundo problema a resolver es el de la estabilidad aerodinámica del aparato. Es decir, el avión debe poseer alas y timones dispuestos con el fin de permitir un vuelo regular con un mínimo de correcciones en la configuración del aparato. Finalmente, es necesario resolver el problema de las maniobras. En la figura grande, dos importantes mecanismos unidos a la palanca de mando y a los pedales.





Arriba, de izquierda a derecha, las principales maniobras de un avión: alerones para giros y virajes —a) y b)—, timones de profundidad para ascensos y picados —c) y d)—. La figura del centro representa un pequeño avión monomotor, dejando ver parte de la sencilla estructura interna (actualmente, rara vez es de madera y casi siempre está construida en fibra de vidrio o en aleaciones de aluminio). A la izquierda, abajo, varias configuraciones de plantas alares, de formas del fuselaje y de la posición de los motores en aviones destinados a diferentes misiones y dotados de diversas velocidades.

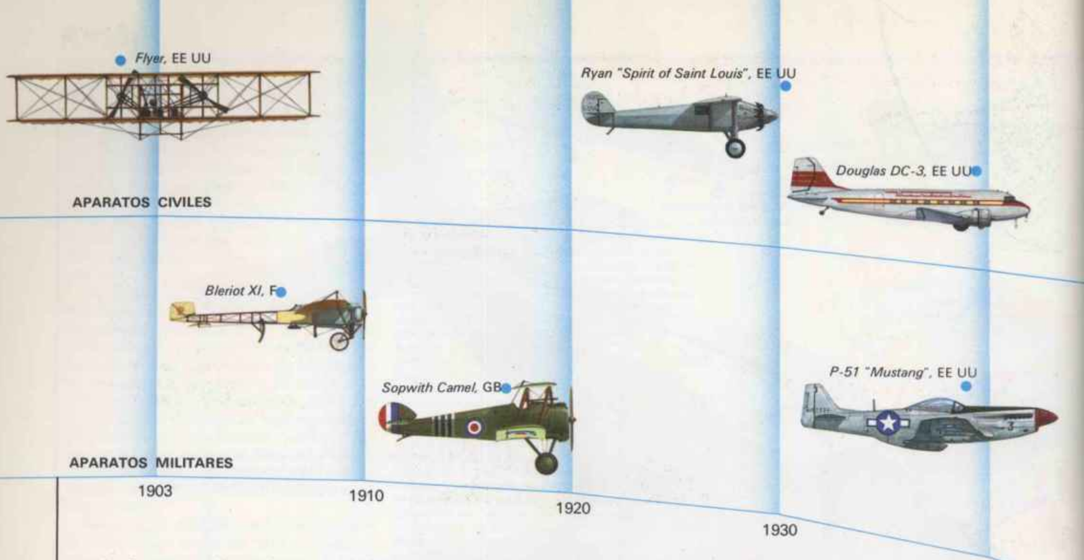
trincheras y fortificaciones enemigas. Pero pronto los pilotos empezaron a disparar con sus pistolas y a lanzar granadas sobre las tropas que sobrevolaban. De esta forma se empezaron a montar ametralladoras sobre los aviones, dotadas de dispositivos que permitían disparar a través de la hélice sin que las balas la alcanzasen. La velocidad que podían alcanzar los aviones aumentó; empujados por la necesidad de sobrevivir a las exigencias tácticas, los aviones de combate se convirtieron en esbeltos pájaros de la muerte, y de esta forma comenzó una verdadera guerra aérea.

También aumentaron las dimensiones de los aviones. Detrás de los frentes de batalla, en los territorios de las naciones en conflicto, las fábricas y ciudades se encontraban al alcance de los aeroplanos cargados de bombas y dispuestos para dejarlas caer. Los grandes bombarderos, dotados de varios motores y con tripulaciones de hasta siete hombres, volaban de noche sobre los objetivos para soltar su carga de explosivos, como un anticipo de las terribles destrucciones que habrían de realizarse pocas décadas más tarde con estos instrumentos de guerra.

Después de la I Guerra Mundial, en los mismos cielos de Europa que meses antes habían estado escuchando el traqueteo de las ametralladoras y las explosiones de las bombas nacía la aviación civil. La primera compañía aérea del mundo, la Lufthansa alemana, se fundó en 1919. Pronto siguieron Inglaterra y Francia, mientras que Norteamérica quedaba atrás. Por lo que se refiere a los aviones, las únicas cosas que interesaban al público norteamericano eran las acrobacias y los circos volantes; habrían de transcurrir casi doce años para que en ese país se realizasen esfuerzos serios tendentes a promover el transporte aéreo.

En los años veinte el avión había sufrido tal evolución en su forma y en los materiales utilizados para su construcción, que podía ya ser empleado seriamente como medio de transporte. Todo esto se realizó en Europa. Los pasajeros europeos no estaban ya obligados a viajar en viejos bombarderos reformados. Las cabinas de los nuevos aparatos eran lujosas y confortables, con asientos tapizados y cuadros en las paredes; hasta tenían comida y bebidas a su disposición. Todavía el piloto y la tripulación viajaban a veces en cabinas descubiertas, pero eso no duró mucho tiempo.

Los motores dejaban aún mucho que desear en cuanto a fiabilidad, y cualquier vuelo podía ser lamentablemente interrumpido por un aterrizaje forzoso. Sin embargo, para los aparatos de la época, que volaban a baja cota y con escasa velocidad (de Londres a París empleaban dos horas y media), esto era normalmente poco más que un pequeño contratiempo. Había praderas en abundancia para poder aterrizar y el mecánico de vuelo estaba en condiciones de arreglar rápidamente las



averías. La navegación era bastante primitiva y consistía esencialmente en seguir el trazado del ferrocarril; algunos pilotos encontraban la forma de alcanzar el destino a través de la niebla. Gordon Olley, un piloto inglés, era muy hábil en seguir las líneas de turbulencia dejadas por los trenes durante la noche.

Rutas para el Imperio La autonomía de los aparatos comerciales de los años veinte no superaba normalmente los quinientos o seiscientos kilómetros, por lo tanto era necesario programar los viajes con mucho cuidado para las escalas de abastecimiento. A pesar de ello, y con la ayuda de los subsidios gubernativos, las rutas aéreas continuaron desarrollándose. Mediados los años veinte, Inglaterra fundó la Imperial Airways (que reunía todas las líneas aéreas existentes hasta el momento en una sola compañía, controlada por el gobierno) y abrió nuevas rutas que enlazaban todos los rincones del vasto Imperio británico.

Con catorce o quince pasajeros por avión, las líneas aéreas constituyeron una empresa con pérdidas durante casi toda la década de los veinte, y la tecnología de la época no aportó contribuciones substanciales que mejoraran la situación. Hasta comienzos de los años treinta el típico avión de línea era un aparato grande y voluminoso, con dos motores en las alas del biplano y a veces un tercero en el morro. Después apareció en Estados Unidos un aparato de concepción totalmente nueva: su forma era esbelta, aerodinámica; las ruedas se replegaban dentro de las alas, que estaban desprovistas de todo tipo de riostra o cable que pudiera ofrecer resistencia al aire. El *Douglas DC-3* podía constituir el ejemplo típico del avión de línea de nueva concepción, y demostró mantener lo que su forma exterior prometía volando desde Nueva York a Los Angeles en veinticuatro horas, incluidas las escalas intermedias. Por primera vez en América el avión se demostraba más veloz que el tren; en las largas distancias que caracterizan a los Estados Unidos esto resultaba de gran importancia. Los viajes aéreos, que en los EE UU eran hasta ese momento la Cenicienta de la industria del transporte, empezaron a ganar terreno y popularidad.

Hidroaviones: una breve vida romántica Un elemento importante en el desarrollo del transporte aéreo alrededor del mundo lo representó el hidroavión, un aparato espacioso construido para atravesar los océanos con un lujo y una seguridad jamás logrados hasta entonces. El hidroavión tenía un notable precursor en aparatos alemanes como los *Dornier Wal* de los años veinte, que habían abierto camino a los vuelos hacia Sudamérica, y el enorme *Dornier Doz* de doce motores, que en 1930 voló hasta Nueva York transportando 174 pasajeros.

En Inglaterra se construyeron dos grandes hidroaviones: el *Short Sunderland* y el *Saunders-Roe*, ambos para la Imperial Airways, y durante un cierto tiempo pareció que este tipo de aparatos, con su gran capacidad de carga y la posibilidad de sostenerse en el agua, iba a constituir la solución para los vuelos intercontinentales. En los Estados Unidos, Sikorski, Martin y Boeing fueron los principales constructores de este tipo de avión, y en 1939 dos de estos aparatos volaban regularmente en las rutas transoceánicas. El *Boeing 314 "Clipper"* podía transportar hasta 89 pasajeros y tenía una autonomía de 5.200 millas, lo suficiente para sobrevolar el Pacífico; los hidroaviones de Sikorski dominaban el tráfico hacia Sudamérica, abriendo nuevas rutas para la compañía Pan American Airways, que durante aquel período se fue afirmando como la línea aérea más importante del mundo. Sin embargo, con la guerra disminuyó la importancia del hidroavión en los tráficos comerciales, y al terminar el conflicto los aparatos tradicionales habían alcanzado ya una gran ventaja en cuanto a fiabilidad y alcance.

En los años treinta, esencialmente dos modificaciones tecnológicas tuvieron un papel decisivo en la confirmación del avión como medio de transporte: el tren de aterrizaje retráctil y la hélice de paso variable. Eliminando las pesadas ruedas —con los consiguientes montantes— del perfil aerodinámico, y alojándolas en las alas y en el fuselaje, fue posible aumentar la velocidad de crucero de los aviones en varios kilómetros a la hora, con el consiguiente incremento en la autonomía de los mismos. La hélice de paso variable representó para el avión lo que el cambio había representado para el automóvil: permitía aprovechar diferentes pasos para las distintas condiciones que podían presentarse en vuelo. Un paso incrementaba la potencia en el despegue, permitiendo así aumentar la carga y disminuir la carrera de despegue. Otro estaba estudiado para poder ascender mejor y alcanzar la cota de vuelo en menos tiempo. Y el tercero, apropiado para el vuelo de crucero en cota, aumentaba tanto la velocidad como la autonomía, dos elementos que constituyen la diferencia entre un aparato que vuela con pérdidas y el que vuela en activo.

Los reactores: un salto de calidad En el período de la postguerra, la novedad a la que debe atribuirse mayormente un papel decisivo fue la aparición del motor a



reacción. Esta extraordinaria fuente de propulsión, radicalmente distinta del motor de émbolo tradicional que había propulsado los aviones desde el primer vuelo de los hermanos Wright, dio un gran impulso al vuelo comercial de la época. La velocidad de los aviones aumentó más del doble, y su autonomía o radio de acción se extendió hasta tal punto que los vuelos transoceánicos sin escalas se convirtieron en habituales; además, la altitud de crucero alcanzó el aire limpio y enrarecido de los 16.000 metros. El empuje aportado por los motores a reacción era fantástico; y la capacidad de carga de los aviones saltó a los cien pasajeros y después a los doscientos pasajeros o incluso más.

Estos recientes progresos barrieron de la escena de la aviación a los hidroaviones, que, sin embargo, no se rindieron fácilmente. Su gran amplitud y la posibilidad de posarse con toda tranquilidad en el agua eran factores apreciados aún; pero el límite de su reducida velocidad marcó su destino.

Véase **Aerodinámica y aeronáutica; Avión supersónico**

Evolución de las formas de los aviones militares (en la banda inferior) y comerciales (en la superior). En ochenta años las formas han sufrido profundas modificaciones, y las actuales tienen gran semejanza con las de los ingenios espaciales. El cuadro está incompleto, puesto que no pone de relieve que en el desarrollo de las formas de los aviones han influido fuertemente dos guerras mundiales. Durante las guerras se detiene el desarrollo de los aviones civiles, mientras que los militares progresan rápidamente. En la postguerra, el fenómeno se invierte. Durante los largos períodos de paz, el aumento constante del producto nacional bruto de los distintos países es el que indica más eficazmente el desarrollo de la aviación. Al lado pueden verse los protagonistas del desarrollo de las prestaciones de los aviones: el motor de émbolo (arriba) y el motor a reacción (abajo); el primero, hasta la II Guerra Mundial, y el segundo, en los últimos años.

Avión, estructura y producción

La forma de construcción de los aviones está condicionada, como es obvio, por la función que les corresponde, volar, lo que se refleja en todas las fases de su proyecto y en todos los detalles de su estructura, en los que hay que tener en cuenta dos requerimientos básicos: resistencia y poco peso. La habilidad de los proyectistas y contructores consiste en encontrar un compromiso razonable entre ambos.

Estructuralmente, un avión puede dividirse en dos partes fundamentales con funciones distintas: las *alas*, incluyendo las superficies de cola, en las que se crea la sustentación aerodinámica que comprende el peso de todo el avión, y el *fuselaje*, que sostiene la carga propiamente dicha, compuesta por los pasajeros y las mercancías. Estas dos partes del avión deben ser al mismo tiempo ligeras y resistentes; las alas, en particular, deberán ser muy resistentes y a la vez flexibles, para poder soportar los esfuerzos a los cuales se verán inevitablemente sometidas durante el vuelo.

Los primeros aviones eran de madera, generalmente de abeto rojo. El ala estaba constituida por un fuerte *larguero*, que la recorría en toda su longitud, al cual estaban unidas las *costillas*, que determinaban su amplitud y curvatura o *perfil*. El *borde de ataque* o borde frontal del ala se encontraba en la zona de curvatura máxima, y para protegerlo se recubría a menudo con un delgado panel de madera. Una vez terminada, se la forraba de seda o tela, que después se barnizaba para que la superficie quedase tensa y lisa.

Los primeros aviones no tenían fuselaje: el piloto estaba sentado o tumbado sobre el ala, que sostenía el motor, y lo que ahora llamamos fuselaje era simplemente una estructura abierta que se prolongaba hacia atrás para sostener los planos de cola. Más tarde esta estructura se recubrió con tela y se instaló una cabina, en la cual el piloto podía protegerse de la intemperie. Posteriormente se dotó al avión de una estructura o fuselaje, en el que encontró cabida un sencillo tren de aterrizaje, constituido por dos ruedas colocadas sobre un montante amortiguador y por un patín de cola.

Innovaciones radicales en la configuración El modelo de avión de pasajeros, tal como lo conocemos hoy, empezó a configurarse al principio de los años treinta. Las compañías aéreas, en los albores de su existencia, se valían de aviones de guerra reformados, pero notaban la necesidad de un avión de transporte veloz, seguro y confortable para los pasajeros. En 1933 la compañía Boeing presentó el modelo *247*, un avión de diseño completamente nuevo, con múltiples modificaciones tanto exteriores como interiores.

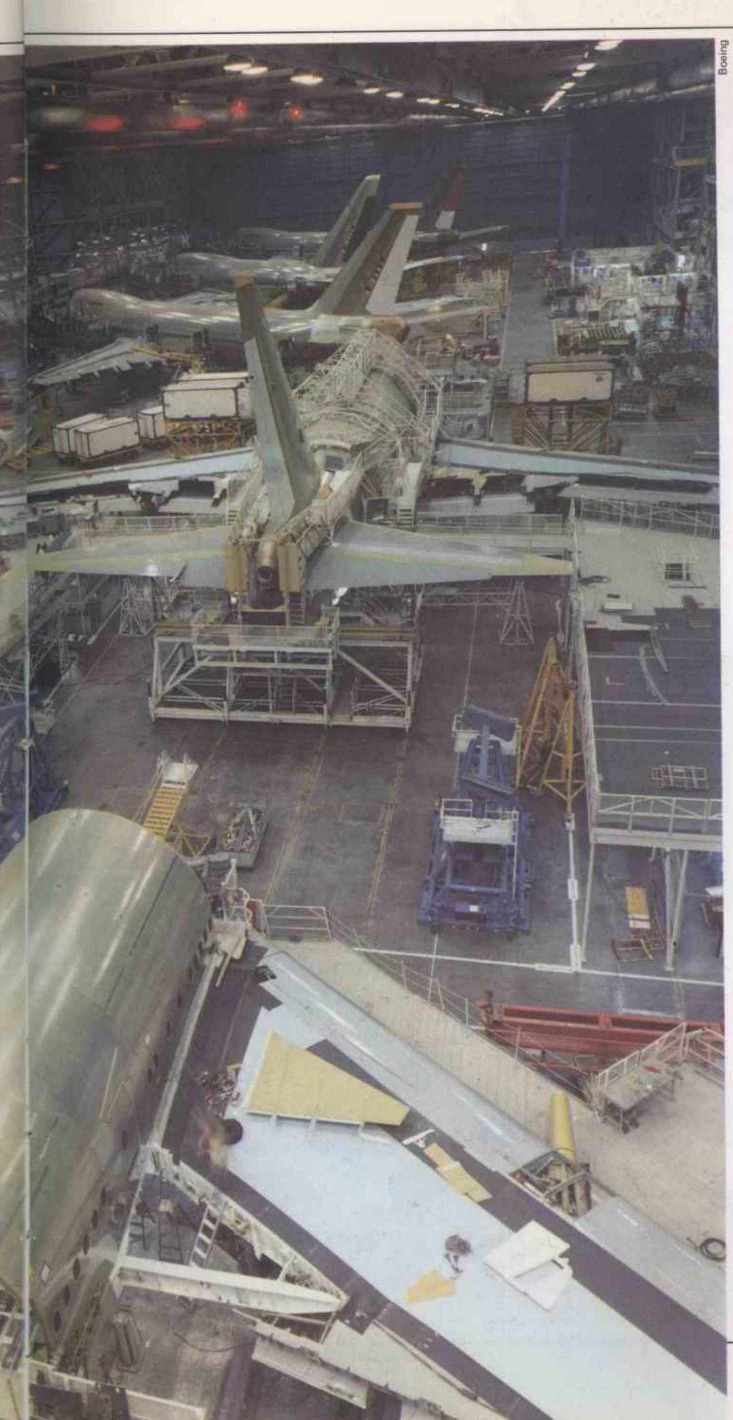
El *Boeing 247* era un monoplano bimotor con tren de aterrizaje retráctil, que incluso en tierra, parado, tenía el aspecto de un aparato veloz. Sus largas alas con perfil de cuerda variable no eran sostenidas por montantes externos; estaba construido según el principio de ala *cantilever*, o en voladizo: de esta forma, todo el peso del avión era soportado por un único larguero, sólidamente unido al fuselaje. La característica más sobresaliente del *247* consistía en el hecho de que su construcción era totalmente metálica y utilizaba el nuevo "monocasco", o "revestimiento resistente". El empleo de la madera y el tejido quedaba definitivamente superado; este avión brillaba con sus nuevas y pulidas chapas de aleación de aluminio, unidas a ras para formar las superficies de las alas y del fuselaje. "Revestimiento resistente" significaba que las superficies del avión eran parte integrante de la estructura portante, lo que confería al avión no sólo ligereza y buenas cualidades aerodinámicas, sino una resistencia jamás lograda hasta entonces.

Con el *B-247* estos principios constructivos entraron en la aviación estadounidense, pero alcanzaron el pleno éxito con otro avión (entre otras razones, porque el *B-247* —monopolizado por la United Airlines, para la cual había sido construido en un principio— no iba a ser capaz de mantener plenamente las prestaciones que parecía prometer inicialmente en lo relativo a velocidad, autonomía y capacidad de carga). Un joven proyectista, Donald Douglas, vio la oportunidad y no la dejó escapar. Aunque parecido exteriormente al *B-247*, el *DC-1* de Douglas podía llevar cuatro pasajeros más con los mismos costes. A éste le siguieron rápidamente el *DC-2* y después el *DC-3*, que se habría de convertir con el tiempo en el avión de transporte de pasajeros y mercancías más versátil y con mayor vida operativa de la historia de la aviación. El *DC-3* fue el primer avión que realizó un vuelo nocturno de costa a costa. Cuando estalló la guerra, la demanda de estos aparatos de transporte fue tal que se construyeron unos 11.000 en Estados Unidos y más de 2.000, bajo licencia, en la URSS.

El aspecto del avión se modifica Quizás la mayor ventaja de la estructura de "recubrimiento resistente" consiste en la posibilidad de proporcionar a los aviones un aspecto aerodinámico "limpio". Ahora las únicas superficies expuestas al flujo de aire creado por el movimiento del avión eran superficies aerodinámicas funcionales, que, limpias, pulidas y lisas, ofrecían una mínima resistencia al aire. La velocidad aumentó, superando la barrera de los 320 km/h y después la de los 480 km/h. A finales de los años treinta estos aviones volaban a más del doble de velocidad que los del decenio anterior. Además,



La empresa que proyecta y construye un avión fabrica en sus talleres sólo una pequeña parte de todos los componentes del aparato, pero tiene la responsabilidad de su ensamblaje final, lo que implica un cuidadosísimo control del montaje y del perfecto funcionamiento de todos los componentes.



Boeing

aportaron algunas modificaciones estructurales, con las que fue posible realizar trayectos más largos. Los depósitos de combustible se colocaron en el interior de las nuevas alas aerodinámicas de estructura en cajón. Ya en el año 1939 los enormes hidroaviones cuatrimotores habían superado las distancias oceánicas tanto del Atlántico como del Pacífico, inaugurando vuelos regulares a Europa y a Oriente.

Mientras tanto, la mayor parte de la industria aeronáutica había abandonado prácticamente el empleo de la madera como material para la construcción de la estructura del avión, que se seguía utilizando únicamente para algunas avionetas, como el *Piper Club* y el *Flying Bathtub* de Aeronca. Lo mismo ocurría en la aviación militar, con una sola excepción digna de ser reseñada: el *De Havilland "Mosquito"*, un avión de observación o bombardeo ligero, de fabricación inglesa, extremadamente veloz, que estaba construido en contrachapado de madera muy resistente. El *Mosquito*, en virtud de su gran velocidad, se empleó con éxito para la caza en vuelo de las famosas bombas volantes alemanas *V-1* que tan grandes estragos causaron en Londres durante la II Guerra Mundial. Esto fue posible gracias al empleo del plomo tetraetilo, desarrollado en la misma época, que, añadido en dosis conveniente a la gasolina, mejoraba su poder antidetonante, es decir, aumentaba el número de octanos de la misma; de esta forma podía aumentarse la relación de compresión de los motores sin que se produjera la detonación en las cámaras de combustión de los cilindros, lo que se traducía en un aumento de potencia con el consiguiente aumento de velocidad del aparato.

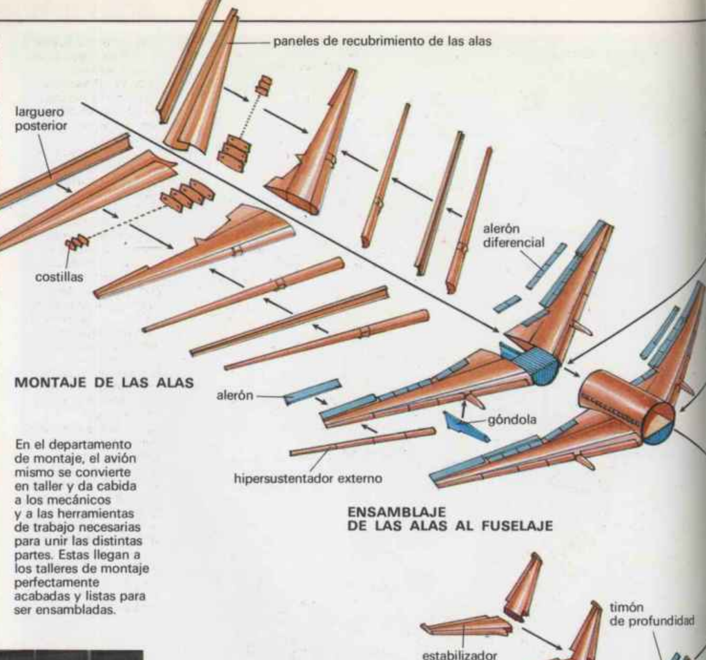
Cuando, mediados los años cincuenta, hizo su aparición el *reactor*, se produjo una revolución en el diseño de las estructuras de avión. Por primera vez había "potencia que quemar", potencia para poder elevar aviones más grandes, potencia que permitía alcanzar altitudes de vuelo insospechadas para los aviones tradicionales, potencia para alcanzar velocidades superiores a la del sonido: todo esto produjo un inevitable cambio en la forma y en las prestaciones de los aviones.

Velocidad equivalente a calor Entre los primeros cambios se hizo necesario el de los materiales utilizados para la construcción de los aviones. En el pasado habían dominado el aluminio y sus aleaciones; ahora entraban en juego otros metales: el magnesio, el acero inoxidable, el molibdeno, el titanio, etc, pues con las altas velocidades que permitían los reactores, se hacía necesario tener en cuenta en el proyecto el factor temperatura. Concretamente, para la aviación militar era necesario considerar que a velocidad Mach 2, es decir, al doble de la velocidad del sonido, las aleaciones de aluminio empiezan a reblandecerse debido al calor que se genera por rozamiento aerodinámico, y

Mach 2 no era una velocidad inusual en los cazas y los interceptadores más veloces.

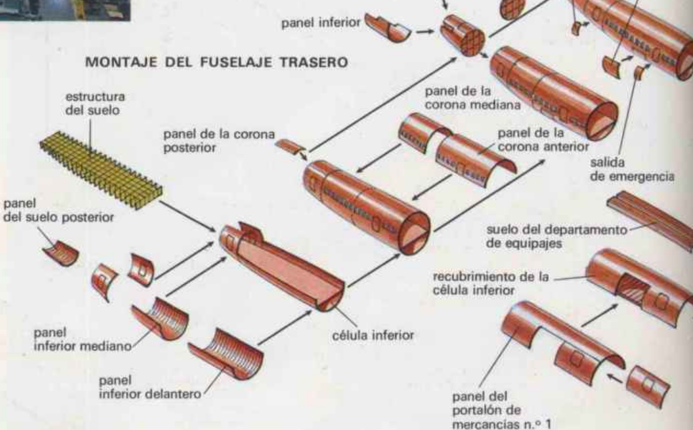
Con la llegada del reactor cambiaron también la posición y la forma de las alas. Los bordes de ataque se inclinaron hacia atrás, dando así al avión la apariencia de una punta de flecha en vuelo. También el centro de gravedad del aparato se desplazó hacia la parte posterior, debido a la mayor velocidad de régimen de vuelo; de este modo, las alas ya no se colocaban en la parte anterior, como en los aviones precedentes, sino que se fueron desplazando hacia el centro y, finalmente, hacia la parte posterior. Cuanto más aumentaba el techo de velocidad, tanto más los aviones parecían flechas. Los cazas incluso ya no tenían alas en el sentido tradicional, sino superficies en forma de delta, claramente triangulares, planas y lisas como hojas de navaja.

También se realizaron pruebas con alas de geometría variable y, a la vista de los éxitos obtenidos, fueron incluidas en proyectos de vanguardia. El *F-111*, un caza estadounidense, fue el primer avión del tipo "ala móvil". Podía girar hacia adelante sus alas con perfil de cuerda fuertemente variable para obtener la máxima sustentación en el despegue y aterrizaje, y, una vez en vuelo, retraerlas hacia atrás hasta que sus bordes de fuga se acercaban al fuselaje, dando de este modo al avión la forma de una punta de flecha, muy apropiada para los vuelos de alta velocidad.

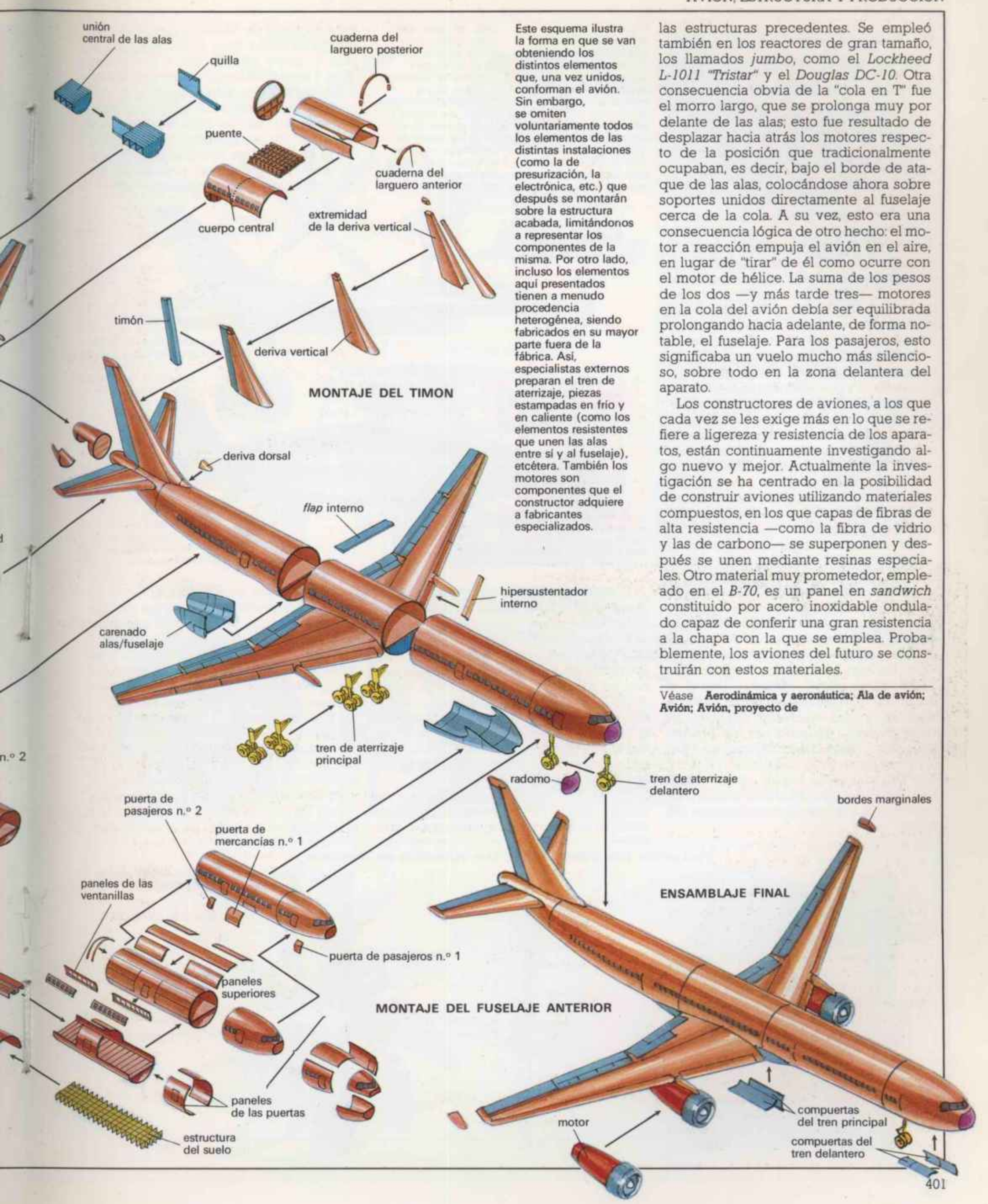


En el departamento de montaje, el avión mismo se convierte en taller y da cabida a los mecánicos y a las herramientas de trabajo necesarias para unir las distintas partes. Estas llegan a los talleres de montaje perfectamente acabadas y listas para ser ensambladas.





Cola en T El desplazamiento de las alas hacia la parte posterior del aparato influía en el comportamiento de las superficies de cola, de las cuales dependen las características y el control de la inclinación del morro del avión hacia arriba o abajo; por lo tanto, éstas también se desplazaron hacia arriba, hacia la punta del timón de dirección, lejos de las turbulencias que se originan cerca de la estructura del avión. De esta forma se podía instalar otro reactor en la base del timón. Así, el birreactor se convirtió en trirreactor, incrementándose la velocidad y la potencia. De este modo nació la *cola en T*: una enorme deriva vertical con los planos horizontales en el extremo, totalmente distinta de



Este esquema ilustra la forma en que se van obteniendo los distintos elementos que, una vez unidos, conforman el avión. Sin embargo, se omiten voluntariamente todos los elementos de las distintas instalaciones (como la de presurización, la electrónica, etc.) que después se montarán sobre la estructura acabada, limitándonos a representar los componentes de la misma. Por otro lado, incluso los elementos aquí presentados tienen a menudo procedencia heterogénea, siendo fabricados en su mayor parte fuera de la fábrica. Así, especialistas externos preparan el tren de aterrizaje, piezas estampadas en frío y en caliente (como los elementos resistentes que unen las alas entre sí y al fuselaje), etcétera. También los motores son componentes que el constructor adquiere a fabricantes especializados.

las estructuras precedentes. Se empleó también en los reactores de gran tamaño, los llamados *jumbo*, como el *Lockheed L-1011 "Tristar"* y el *Douglas DC-10*. Otra consecuencia obvia de la "cola en T" fue el morro largo, que se prolonga muy por delante de las alas; esto fue resultado de desplazar hacia atrás los motores respecto de la posición que tradicionalmente ocupaban, es decir, bajo el borde de ataque de las alas, colocándose ahora sobre soportes unidos directamente al fuselaje cerca de la cola. A su vez, esto era una consecuencia lógica de otro hecho: el motor a reacción empuja el avión en el aire, en lugar de "tirar" de él como ocurre con el motor de hélice. La suma de los pesos de los dos —y más tarde tres— motores en la cola del avión debía ser equilibrada prolongando hacia adelante, de forma notable, el fuselaje. Para los pasajeros, esto significaba un vuelo mucho más silencioso, sobre todo en la zona delantera del aparato.

Los constructores de aviones, a los que cada vez se les exige más en lo que se refiere a ligereza y resistencia de los aparatos, están continuamente investigando algo nuevo y mejor. Actualmente la investigación se ha centrado en la posibilidad de construir aviones utilizando materiales compuestos, en los que capas de fibras de alta resistencia —como la fibra de vidrio y las de carbono— se superponen y después se unen mediante resinas especiales. Otro material muy prometedor, empleado en el *B-70*, es un panel en *sandwich* constituido por acero inoxidable ondulado capaz de conferir una gran resistencia a la chapa con la que se emplea. Probablemente, los aviones del futuro se construirán con estos materiales.

Véase **Aerodinámica y aeronáutica; Ala de avión; Avión; Avión, proyecto de**

Avión, motor de

Para que un avión pueda mantenerse en vuelo es absolutamente indispensable que esté en constante movimiento; esto es debido a que, para lograr la fuerza sustentadora, debe formarse sobre sus alas un flujo de aire. El avance del avión en el aire se produce por medio de una hélice o de un reactor que, respectivamente, tira de o empuja el avión. En el planeador, el avance está causado por la gravedad, que le hace descender a lo largo de una trayectoria inclinada.

Debido a su naturaleza, un avión requiere motores con características diferentes a las de los motores para vehículos terrestres: los aviones se mueven en todas las direcciones del espacio y a veces tienen que hacer maniobras bruscas e imprevistas, pero el motor debe continuar en funcionamiento incluso cuando el avión vuela invertido.

El primer motor específico para avión fue construido por los hermanos Wright para hacer volar su primer aeroplano experimental, el *Wright Flyer*; no habían conseguido encontrar un motor suficientemente ligero para sus necesidades, y lo construyeron ellos mismos. El hecho de que no sólo lo consiguieran, sino que realizaran un motor de 12 cv lo suficientemente ligero para permitir a su avión alzarse en vuelo al primer intento da una idea de su habilidad.

Los hermanos Wright construyeron un motor de gasolina del tipo convencional, que, con sucesivas modificaciones, fue el empleado durante más de cincuenta años. Los dos tipos de motores más empleados fueron *los motores en línea* —los cilindros estaban situados uno detrás de otro, en una línea recta— y los *motores en estrella* —con los cilindros situados en anillo alrededor de un cárter central—. Desde el punto de vista aerodinámico, se prefería motores en línea, que tenían una forma fácil de ajustar en el interior del cuerpo alargado del fuselaje del avión; mientras que los motores en estrella, grandes y toscos, con una superficie frontal plana, requerían unos carenados muy elaborados para mantener la armonía y la aerodinámica del avión.

El avión se mueve actuando sobre el aire que lo rodea, y el mecanismo con el que actúa es la hélice. Esto es visible en los viejos aviones con motor de pistones (figura inferior) y cuya hélice tiene un gran diámetro; su acción se explica con la rotación: las palas inclinadas empujan el aire hacia atrás, de modo que a esta acción de la hélice sobre el aire corresponde una reacción del aire sobre la hélice. El aire resulta empujado hacia atrás, y por tanto el avión avanza. En el avión con motor de propulsión a chorro la hélice no es visible (figura superior) porque está en el interior.

fuerza (reacción) que el gas de descarga ejerce sobre el motor

fuerza (acción) que el motor ejerce sobre el gas de descarga

fuerza (acción) que las palas de la hélice ejercen sobre el aire

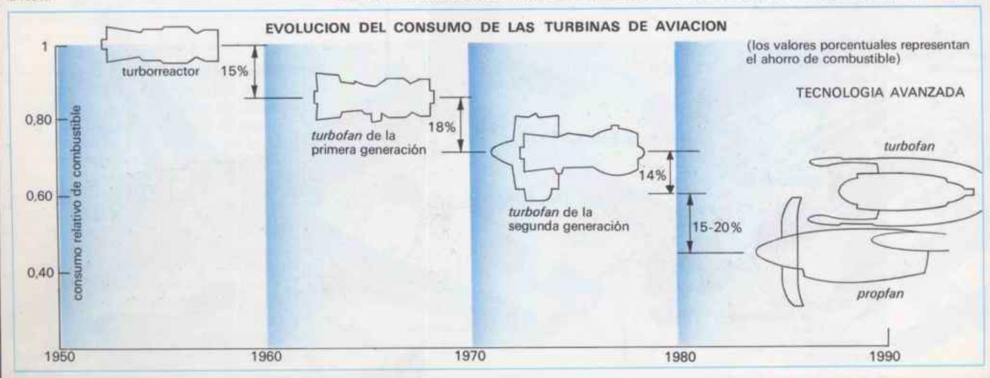
fuerza (reacción) que el aire ejerce sobre las palas de la hélice

El motor en estrella ofrecía por su parte una gran ventaja: estaba refrigerado por aire. Como cualquier motor de gasolina, el motor de un avión produce, durante su funcionamiento, una gran cantidad de calor que debe ser eliminada. El motor en línea estaba refrigerado por líquido, como el motor de un automóvil, y esto contribuía a aumentar su vulnerabilidad, sobre todo en los aviones militares. El motor en estrella encontraba una fuente ilimitada de refrigeración en el flujo de aire creado por el movimiento del avión.

En la I Guerra Mundial se utilizó una variante —hoy poco usual— de motor en estrella, el llamado *motor rotativo*, en el cual todo el grupo de cilindros giraba alrededor de un cárter fijo y la hélice estaba fijada al grupo de cilindros y giraba con ellos. También el motor rotativo estaba refrigerado por aire, pero, aunque funcionaba de forma satisfactoria —fue el utilizado normalmente por las fuerzas aéreas aliadas—, el par giroscópico que creaba a causa de la altísima velocidad de rotación de todo el motor era tan grande que fue definitivamente abandonado.

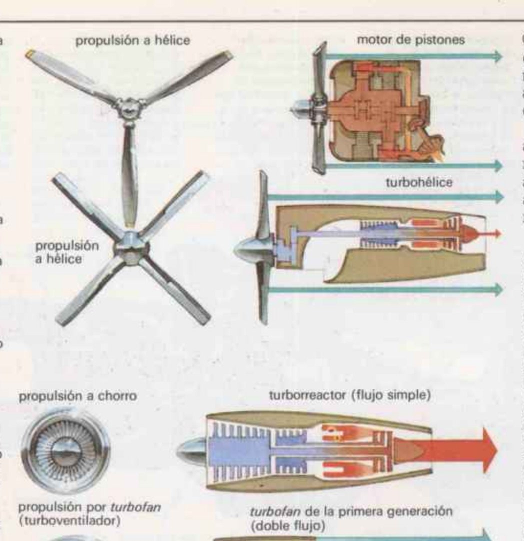
Mediados los años treinta, el motor en estrella era el más usado en los aviones para el transporte de pasajeros; este tenía, respecto a los motores en línea, ventajas desde el punto de vista de ligereza y de potencia. Con el desarrollo y la evolución de la industria aeronáutica crecieron las dimensiones de los motores, hasta obtener motores en estrella doble, esto es, con dos series de cilindros, que alcanzaban potencias superiores a 2.000 cv y autonomía de 8.000 km, y que permitieron la realización de vuelos intercontinentales.

Al final de la II Guerra Mundial aparecieron los reactores, que supusieron una revolución en el mundo de la aeronáutica.



Cuando, a mediados de la década de los cincuenta, el uso de los reactores se generalizó, las distancias se acortaron y el avión se convirtió realmente en un medio común de transporte.

El principio de funcionamiento del reactor es de fácil comprensión. Mientras un motor a hélice arrastra desde delante al avión, recogiendo grandes cantidades de aire y empujándolo hacia atrás, el reactor recoge aire en una cámara de compre-



A lo largo de la década de los cincuenta, la hélice resultó innecesaria con el motor a reacción. De hecho, la hélice es capaz de funcionar con un rendimiento elevado sólo a velocidades muy inferiores a las del sonido. El extremo de la pala gira a gran velocidad, que se suma con la de avance del avión, resultando una velocidad muy próxima a la del sonido: entonces el rendimiento se hace casi cero. Debido a ello, el motor a reacción ha desplazado a la hélice. Pero esto también se ha debido a que los proyectistas aerodinámicos no se preocuparon de perfeccionar el diseño de la hélice. De hecho, hoy se han descubierto nuevas formas de pala (como las de la última figura) que permiten su empleo hasta velocidades superiores a 800 km/h, frente a los 600 km/h máximos tradicionales de los aviones con hélice. Estas hélices pueden moverse por medio de motores de turbina económicos y potentes.

Si el motor es grande y voluminoso (como el de pistones), el movimiento del aire constituye un obstáculo; al contrario que el de turbina, que permite una óptima aerodinámica pero hace necesario utilizar un reductor de velocidad. Las turbinas dan una potencia máxima y continua que equivale a un régimen de vueltas demasiado alto para fijar la hélice directamente al eje. Una pequeña turbina puede girar a más de treinta mil revoluciones por minuto, mientras que la hélice debe girar a pocos miles. A la izquierda, la sección de dos motores a reacción: arriba, el de *flujo simple* (que está desapareciendo porque es ruidoso y tiene alto consumo); abajo, el de *doble flujo*. El circuito que expulsa el aire proveniente de las flechas azules actúa como una hélice entubada. El motor a reacción de doble flujo está compuesto por un motor normal de propulsión a chorro en su parte más próxima al eje. El compresor alimenta la turbina de aire a alta presión, y de ella sale el chorro de gas que provoca el empuje hacia adelante. La potencia desarrollada por la turbina en un motor de flujo simple se divide entre el chorro y las etapas de compresión, mientras que el modelo de doble flujo mueve también una hélice entubada.

propulsión por *turbofan* (turboventilador)

turbofan de la segunda generación

aire de la hélice entubada

chorro de alta presión

hélice entubada

compresor

quemador

turbina

propulsión por hélice de alta velocidad (*propfan*)

turbohélice de alta velocidad

TURBOHELICE

En el motor de turbina que acciona una hélice, el compresor —en este caso, radial— envía el aire a los quemadores y a la turbina. Casi toda la potencia que se obtiene en el eje se transmite al eje de la hélice por medio del reductor. Las palas de ésta producen la mayor parte del empuje, mientras que normalmente menos del diez por ciento está producido por el escape de la turbina. En las turbinas, el movimiento es únicamente rotativo, al contrario que en los motores de pistones, en los que éstos están sometidos a movimientos alternativos y tienen rozamientos con las paredes de los cilindros, que absorben gran parte de la potencia. El hecho de que el volumen de un motor de turbina sea reducido le da la ventaja de una menor resistencia aerodinámica.

compresor
turbina
eje de la hélice
gas de escape
quemador
eje del motor
reductor
pala de la hélice

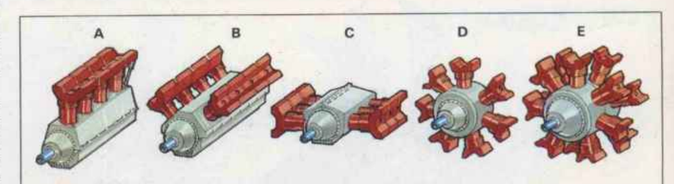
sión, lo mezcla con el combustible y lo quema a una temperatura extremadamente elevada, siendo expulsado por la parte posterior a través de una tobera de descarga. Por tanto, el reactor utiliza el aire exterior únicamente como medio oxidante para mantener la elevada combustión interna y producir un empuje fortísimo.

El primer reactor que se utilizó fue el llamado *turbohélice*. En esta versión, la turbina rotativa que comprime el aire para el proceso de combustión estaba acoplada a una hélice normal de aeroplano. El turbohélice, versátil y potente, no era tan veloz como el reactor, pero se adaptaba a una amplia gama de usos y todavía hoy se utiliza (sobre todo, en los helicópteros).

Poco tiempo después, el auténtico reactor, más conocido como *turborreactor*, se convierte en el motor estándar en los aviones de transporte de viajeros de las líneas aéreas mundiales. A altitudes de crucero de 9.000 metros y más, el turborreactor demostró tener bajo consumo de combustible, hecho que daba a los aviones una autonomía suficiente para los vuelos intercontinentales. Con una velocidad de crucero de alrededor de 900 km/h, que se hizo habitual para los aviones, se redujo a la mitad la duración de los vuelos entre América y Europa; fue entonces posible hacer un enlace directo, sin escalas, con el Oriente y ningún punto de la Tierra resultaba ya inaccesible.

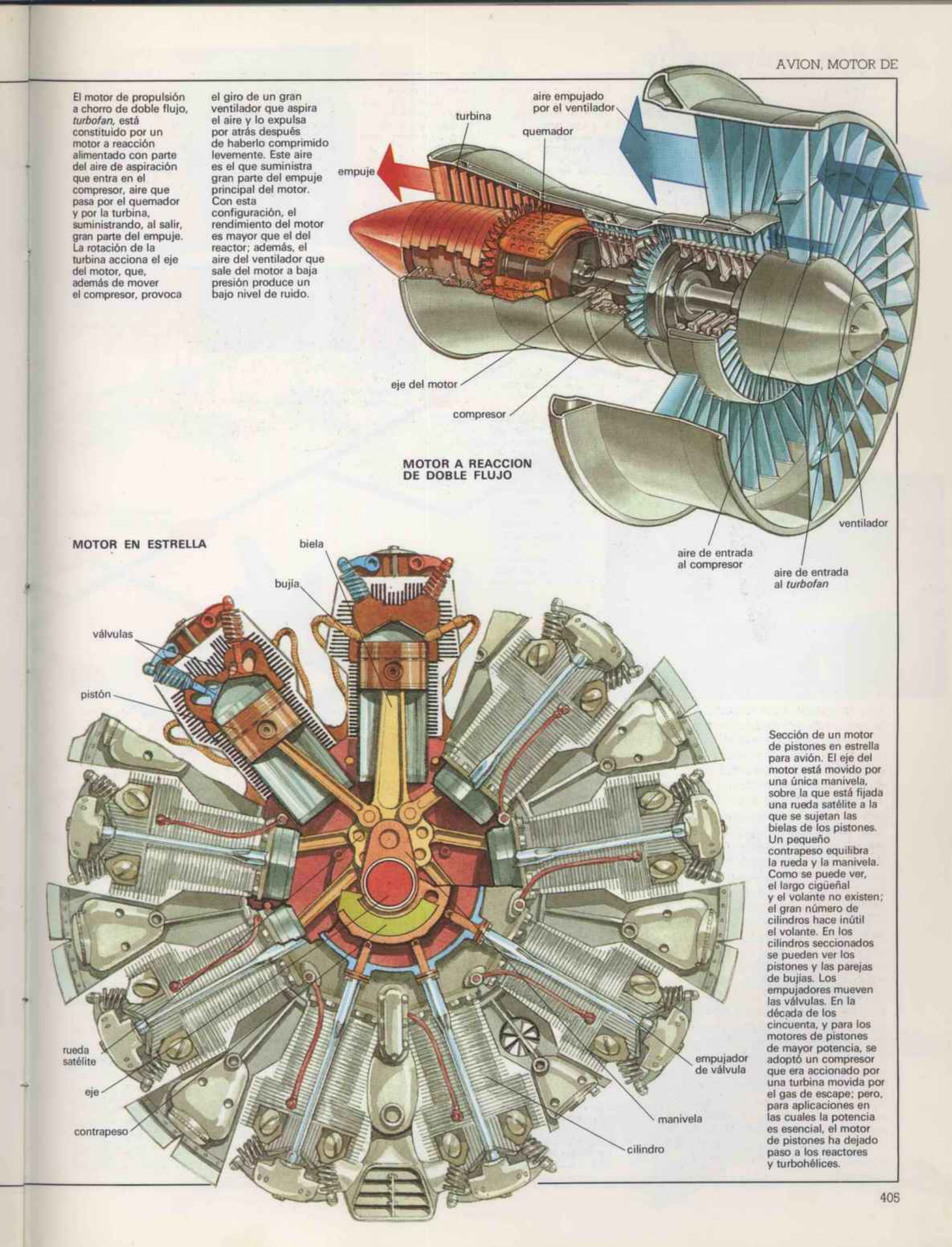
Con el *Space Shuttle* (nave espacial) ha hecho aparición otro tipo de motor para avión: el *motor de cohete*, que, habiendo dado prueba de su fiabilidad en los viajes tripulados a la Luna y en las exploraciones espaciales de planetas lejanos, ya se utiliza experimentalmente en aviones militares. Todavía no es posible decir si este motor será adoptado para usos comerciales; hasta hoy no se ha presentado la necesidad. Mientras tanto, los éxitos obtenidos utilizándolo en las naves espaciales le convierten en un prometedor candidato para el uso civil cuando ello se haga necesario.

Véase **Aerodinámica y aeronáutica; Avión, estructura y producción; Avión, proyecto de; Avión a reacción, motor de; Motor de combustión interna**



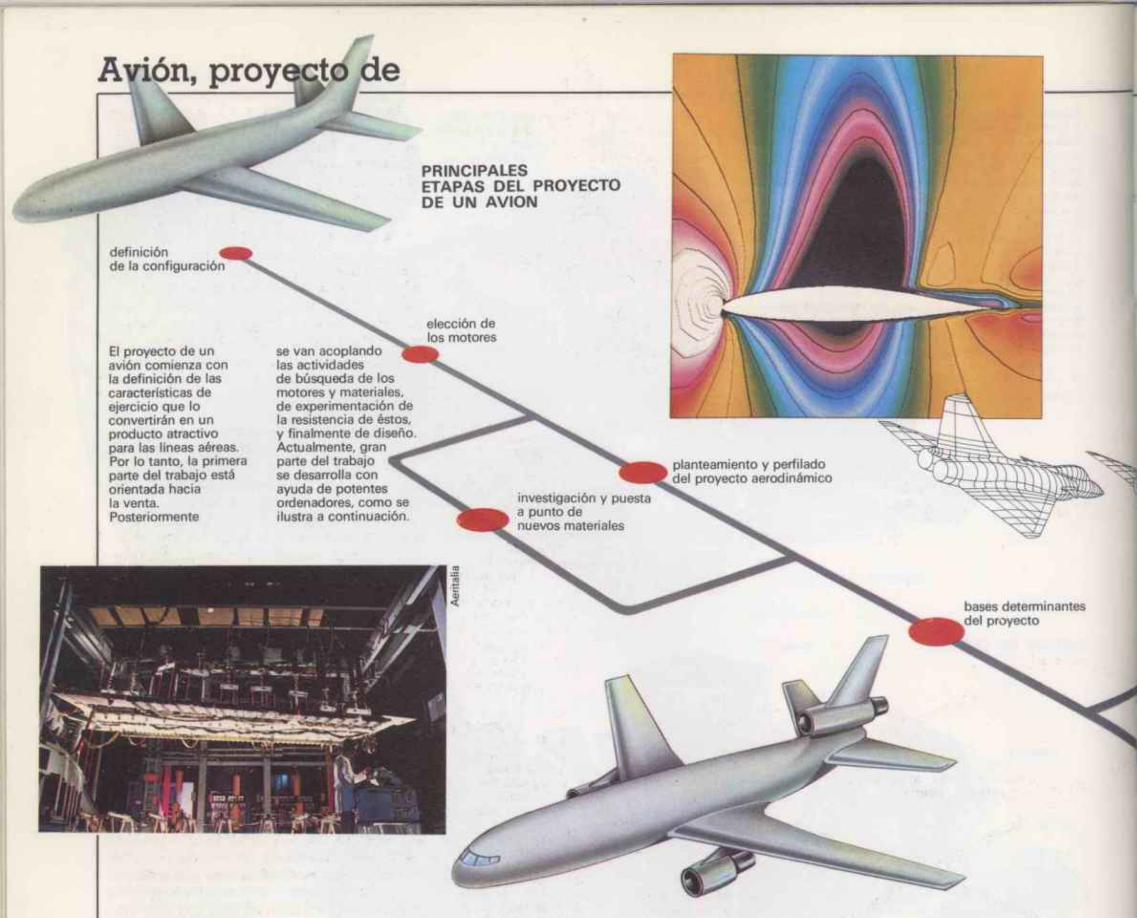
Para eliminar el largo cigüeñal del motor se adoptó la disposición de cilindros en estrella (figura D). Como existe un límite a la potencia obtenible de un cilindro, no se pueden diseñar motores más potentes aumentando las dimensiones de los cilindros y es necesario aumentar el número de cilindros: éstos deben disponerse en doble estrella (figura E). El motor en estrella, adoptado en muchas versiones de aviones civiles y militares, tiene el inconveniente de presentar una gran superficie frontal; para los aviones de caza se prefiere la disposición en línea con una fila de cilindros (figura A) o con dos, dispuestos en "V" (figura B), o contrapuestos (figura C). Esta última disposición se utiliza mucho en las avionetas civiles. Por razones de seguridad en el funcionamiento, todos los motores de pistones tienen un doble encendido.

El motor de propulsión a chorro de doble flujo, *turbofan*, está constituido por un motor a reacción alimentado con parte del aire de aspiración que entra en el compresor, aire que pasa por el quemador y por la turbina, suministrando, al salir, gran parte del empuje. La rotación de la turbina acciona el eje del motor, que, además de mover el compresor, provoca el giro de un gran ventilador que aspira el aire y lo expulsa por atrás después de haberlo comprimido levemente. Este aire es el que suministra gran parte del empuje principal del motor. Con esta configuración, el rendimiento del motor es mayor que el del reactor; además, el aire del ventilador que sale del motor a baja presión produce un bajo nivel de ruido.



Sección de un motor de pistones en estrella para avión. El eje del motor está movido por una única manivela, sobre la que está fijada una rueda satélite a la que se sujetan las bielas de los pistones. Un pequeño contrapeso equilibra la rueda y la manivela. Como se puede ver, el largo cigüeñal y el volante no existen; el gran número de cilindros hace inútil el volante. En los cilindros seccionados se pueden ver los pistones y las parejas de bujías. Los empujadores mueven las válvulas. En la década de los cincuenta, y para los motores de pistones de mayor potencia, se adoptó un compresor que era accionado por una turbina movida por el gas de escape; pero, para aplicaciones en las cuales la potencia es esencial, el motor de pistones ha dejado paso a los reactores y turbohélices.

Avión, proyecto de



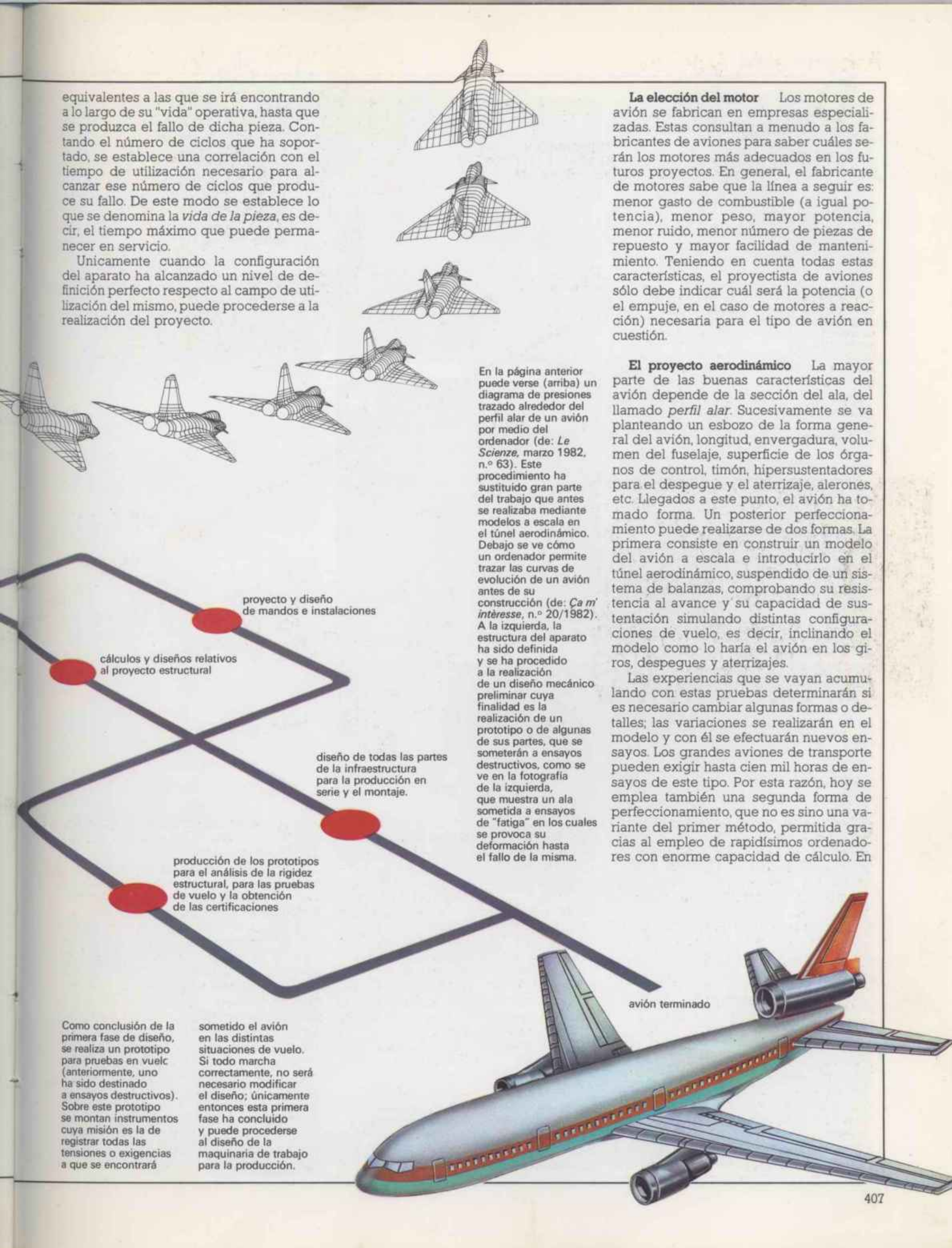
Cómo se proyecta un avión es una pregunta que a principios de siglo nadie en el mundo hubiera podido contestar, aunque numerosos pioneros habían dedicado sus esfuerzos a la invención y construcción de "máquinas voladoras", e incluso algunos habían conseguido elevarse brevemente en el aire; de todos modos, el vuelo siempre había concluido con una aparatosa caída. Las razones de este escaso éxito eran tan sólo dos: falta de potencia del motor y ausencia total de órganos para el control del aparato. Si éste se inclinaba, no había forma de volverlo a enderezar; afortunadamente para el piloto, la poca potencia del motor impedía que el avión se elevase demasiado, y la caída no tenía consecuencias irreparables para él. Fue un gran mérito de los hermanos Wright no sólo el haber comprendido cómo debía construirse un avión —ligero, resistente y dotado de un potente motor—, sino también el haberse trazado una línea a seguir en el proyecto. Ante todo, los Wright utilizaron las mejores tecnologías de la época para lograr una estructura eficiente. Después comprendieron la importancia de controlar todas las probables situaciones de vuelo del aparato, con la posibilidad de efectuar maniobras como cambios de dirección, subidas, bajadas y giros alrededor de sus ejes. Incluso se aseguraron de que con el avión en tierra sometido a un fuerte viento los dispositivos de control funcionasen como era de desear. Intentaron el vuelo únicamente después de multitud de ejercicios cuyo fin era hacerles capaces de llevar a cabo las distintas maniobras con una naturalidad instintiva, cosa ésta de vital importancia en los momentos de emergencia.

Definición de la misión Actualmente ya no se construyen los aviones para demostrar que se puede volar, sino para resolver un problema de transporte o cumplir eficazmente una misión militar. Por esta razón, lo primero que hace un constructor es preguntar a los posibles clientes las especificaciones que desean que cumpla el avión.

Estos clientes —las compañías aéreas, en el caso de aviones civiles— poseen ya aviones, pero envejecen y deben ser sustituidos. Por otro lado, las flotas están sujetas normalmente a continuas ampliaciones. Estas razones impulsan el "mercado", para disponer de aparatos mejores (por ejemplo, capaces de cubrir trayectos más largos o con más pasajeros, o capaces de reducir el consumo de combustible y los costos de operación). El número de aterrizajes a efectuar es otra característica que hay que valorar, ya que las maniobras de aterrizaje producen "fatiga" en las estructuras, y las normas de seguridad no permiten superar el número de horas previsto por el proyectista y el fabricante. Todas las piezas de un avión se someten a ensayos de resistencia a la "fatiga". Estos ensayos consisten en someter a la pieza en cuestión, en forma repetitiva, a cargas

equivalentes a las que se irá encontrando a lo largo de su "vida" operativa, hasta que se produzca el fallo de dicha pieza. Contando el número de ciclos que ha soportado, se establece una correlación con el tiempo de utilización necesario para alcanzar ese número de ciclos que produce su fallo. De este modo se establece lo que se denomina la *vida de la pieza*, es decir, el tiempo máximo que puede permanecer en servicio.

Unicamente cuando la configuración del aparato ha alcanzado un nivel de definición perfecto respecto al campo de utilización del mismo, puede procederse a la realización del proyecto.



En la página anterior puede verse (arriba) un diagrama de presiones trazado alrededor del perfil alar de un avión por medio del ordenador (de: *Le Scienze*, marzo 1982, n.º 63). Este procedimiento ha sustituido gran parte del trabajo que antes se realizaba mediante modelos a escala en el túnel aerodinámico. Debajo se ve cómo un ordenador permite trazar las curvas de evolución de un avión antes de su construcción (de: *Ça m' intèresse*, n.º 20/1982). A la izquierda, la estructura del aparato ha sido definida y se ha procedido a la realización de un diseño mecánico preliminar cuya finalidad es la realización de un prototipo o de algunas de sus partes, que se someterán a ensayos destructivos, como se ve en la fotografía de la izquierda, que muestra un ala sometida a ensayos de "fatiga" en los cuales se provoca su deformación hasta el fallo de la misma.

Como conclusión de la primera fase de diseño, se realiza un prototipo para pruebas en vuelc (anteriormente, uno ha sido destinado a ensayos destructivos). Sobre este prototipo se montan instrumentos cuya misión es la de registrar todas las tensiones o exigencias a que se encontrará sometido el avión en las distintas situaciones de vuelo. Si todo marcha correctamente, no será necesario modificar el diseño; únicamente entonces esta primera fase ha concluido y puede procederse al diseño de la maquinaria de trabajo para la producción.

La elección del motor Los motores de avión se fabrican en empresas especializadas. Estas consultan a menudo a los fabricantes de aviones para saber cuáles serán los motores más adecuados en los futuros proyectos. En general, el fabricante de motores sabe que la línea a seguir es: menor gasto de combustible (a igual potencia), menor peso, mayor potencia, menor ruido, menor número de piezas de repuesto y mayor facilidad de mantenimiento. Teniendo en cuenta todas estas características, el proyectista de aviones sólo debe indicar cuál será la potencia (o el empuje, en el caso de motores a reacción) necesaria para el tipo de avión en cuestión.

El proyecto aerodinámico La mayor parte de las buenas características del avión depende de la sección del ala, del llamado *perfil alar*. Sucesivamente se va planteando un esbozo de la forma general del avión, longitud, envergadura, volumen del fuselaje, superficie de los órganos de control, timón, hipersustentadores para el despegue y el aterrizaje, alerones, etc. Llegados a este punto, el avión ha tomado forma. Un posterior perfeccionamiento puede realizarse de dos formas. La primera consiste en construir un modelo del avión a escala e introducirlo en el túnel aerodinámico, suspendido de un sistema de balanzas, comprobando su resistencia al avance y su capacidad de sustentación simulando distintas configuraciones de vuelo, es decir, inclinando el modelo como lo haría el avión en los giros, despegues y aterrizajes.

Las experiencias que se vayan acumulando con estas pruebas determinarán si es necesario cambiar algunas formas o detalles; las variaciones se realizarán en el modelo y con él se efectuarán nuevos ensayos. Los grandes aviones de transporte pueden exigir hasta cien mil horas de ensayos de este tipo. Por esta razón, hoy se emplea también una segunda forma de perfeccionamiento, que no es sino una variante del primer método, permitida gracias al empleo de rapidísimos ordenadores con enorme capacidad de cálculo. En

lugar de realizar el ensayo físico en el túnel, se simula el flujo de aire alrededor del avión con fórmulas que, traducidas en números, representan la posición de cada punto. Los resultados se presentan en grandes dibujos trazados por el mismo ordenador. Las variaciones necesarias no precisan de esta forma la fabricación de nuevos modelos; bastará introducir las nuevas coordenadas en el ordenador y éste repetirá los cálculos con la nueva forma.

El proyecto de instalación Se necesita invertir mucho tiempo en el proyecto de todas las instalaciones del aparato. Por poner un ejemplo, en un gran avión de transporte se introducen hasta varios centenares de kilómetros de cables eléctricos, conducciones de fluido hidráulico, dispositivos para el acondicionamiento del aire, para el flujo controlado de la ventilación, para regular la presión interior de la cabina, etcétera.

En el caso de un avión militar, es de primordial importancia toda la instrumentación que se empleará en combate. Esta no forma parte del proyecto de la "máquina voladora", sino de su utilización; sin embargo, quien se ocupe de ello debe conocer el espacio de que dispone a bordo y, lo que es más importante, las limitaciones de peso a que está sujeto. Todos estos datos deben ser obviamente evaluados de antemano con los proyectistas del avión.

El diseño Unicamente cuando todas las características del aparato han sido completamente definidas, puede pasarse a la ejecución del diseño final, llamado *ejecutivo*, en base al cual los técnicos empiezan la construcción. Los planos pueden separarse en cuatro categorías principales: *a)* dibujo de conjunto, cuya finalidad es la comprensión del modo en que deberán ensamblarse las distintas partes del avión; *b)* despieces, es decir, dibujos de los distintos elementos que deberán construirse en los talleres; *c)* dibujos de todas las partes que no van a ser realizadas por la empresa constructora del aparato y cuya fabricación será confiada a empresas especializadas en este tipo de trabajos, como pueden ser las piezas de decoletaje (por ejemplo, tornillos, pasadores, remaches, etc.); *d)* dibujos de las herramientas y útiles necesarios en los talleres para la construcción de las distintas partes del avión. Para tener una idea de la complejidad de esta tarea, basta pensar que una copia de todos los esquemas que se refieren a un pequeño caza interceptador pesa aproximadamente quince toneladas.

Cuando estos planos han sido realizados y comprobados en su totalidad, se puede por fin comenzar la construcción propiamente dicha.

Véase **Ala de avión; Avión, motor de; Avión, estructura y producción**





Fotos: Rizzi-Fabri/Fiat S.p.A.



Boeing

A la derecha, las pruebas del *B-767* y del *B-747* con cabina superior alargada. La prueba consiste en un prototipo, es decir, un modelo-piloto. Este deberá enfrentarse con las pruebas que lo conducirán a la obtención de los certificados que autorizarán su empleo práctico. El prototipo servirá después para experimentar las posibles modificaciones, y para "recorrer" el mundo exhibiéndolo en los salones aeronáuticos y a las líneas aéreas interesadas en él. Arriba, la realización de un panal de abeja para una estructura alar. En el centro, una máquina herramienta de control numérico realizando el fresado de un panel estructural de un ala. Finalmente, abajo, la estructura de madera y resina, dura y resistente, sobre la cual se doblarán las chapas curvadas para el revestimiento de la parte anterior del fuselaje. En el caso de los aviones militares, algunas características (como la instrumentación) pueden comprobarse únicamente realizando pruebas en vuelo, después de lo cual puede ponerse en marcha la producción en serie.


BOEING 767

Avión a reacción, motor de

Hacia finales de la II Guerra Mundial, el desarrollo de la hélice como medio de transferencia de la energía producida por un motor de explosión al aire, durante el vuelo a elevadas velocidades subsónicas, pareció haber alcanzado sus máximos límites. Los cazas, en aquel período, con sus potentes motores de explosión y sus hélices —de hasta cuatro o más palas— que permitían aprovechar mejor la potencia disponible, no podían alcanzar velocidades superiores a los 750 km/h. Se hicieron todos los esfuerzos posibles para afinar y mejorar la aerodinámica de los aviones, pero los ingenieros aeronáuticos se dieron cuenta pronto de que si querían incrementar sensiblemente las prestaciones de vuelo era necesario desarrollar un nuevo tipo de propulsor.

La solución fue la *turbina de gas* o *motor a reacción*: una máquina con un principio de funcionamiento relativamente simple y conocido hacía tiempo.

Historia y principios fundamentales La posibilidad de obtener la *propulsión a chorro* había sido demostrada en el siglo I después de Cristo por el científico griego Herón de Alejandría, cuya "eolipila" constituyó el primer *modelo* de motor a reacción que funcionó. Constaba de una esfera hueca de metal, estaba montada sobre un eje giratorio y dotada de dos tubos de descarga colocados en cada extremidad de varios diámetros de la esfera, doblados en direcciones opuestas. A través del eje de rotación, que también era hueco, se introducía vapor en la esfera. La presión del vapor obligaba a éste a salir a través de los tubos de descarga, haciendo girar la esfera. (Es importante notar que el movimiento no era producido por el empuje del vapor sobre el aire exterior y que en el vacío la esfera giraría aún más rápidamente). Lo que la hacía girar era la reacción al empuje de los gases de escape, ya que, según la tercera ley de Newton, a toda acción corresponde una reacción igual y contraria. En este caso, el empuje de los chorros constituye la acción que produce un par de reacción en dos tubos curvados.

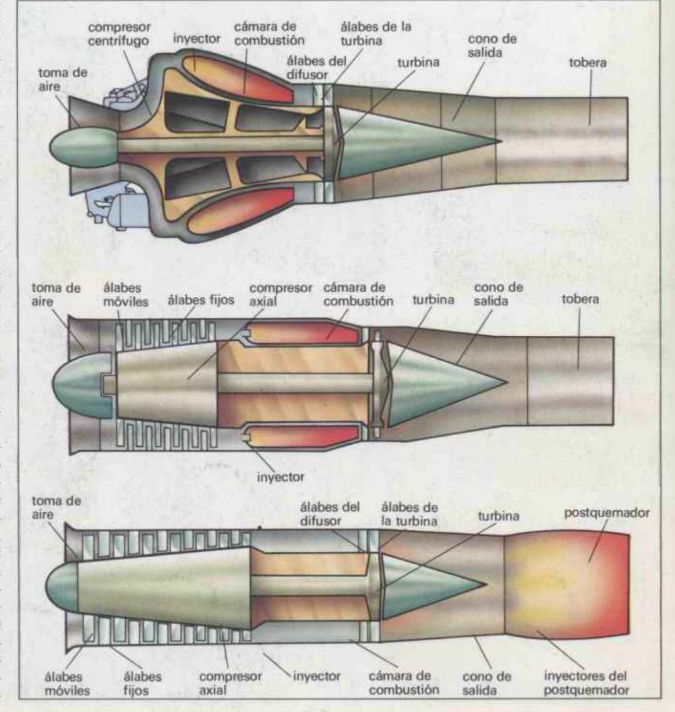
Desde entonces, otros hombres de ciencia y en diversas culturas desarrollaron ese principio, que se vio muy enriquecido con los progresos chinos en el campo de la pirotecnia.

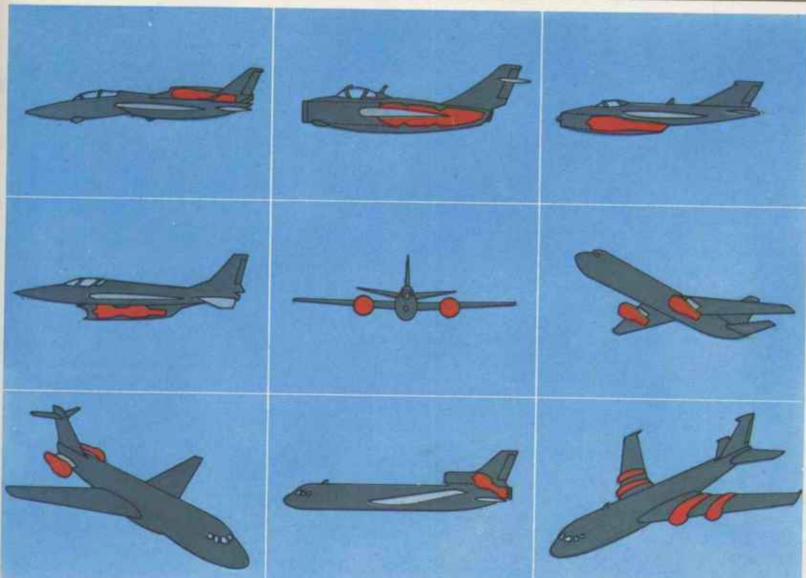
Pero el origen moderno del motor a reacción data de los años treinta de nuestro siglo, cuando el inglés Frank Whittle construyó el primer prototipo de turbina de gas de tipo aeronáutico. En sentido genérico, se llama *turbina de gas* a la máquina que transforma la energía térmica de los productos de una combustión en energía cinética (de expansión) para dar un movimiento rotatorio a un rodete provisto de álabes. En sentido estricto, el nombre de turbina se aplica al propio rodete. Más tarde, la industria aeronáutica alemana modificó y mejoró aquel primer prototipo, justo a tiempo para emplear en las últimas fases de la II Guerra Mundial los primeros cazas *Messerschmitt* equipados con motores a reacción.

Las versiones modernas Los actuales motores a reacción, en su mayor parte, son del tipo tradicional, que recibe el nombre de *turborreactor*. Se trata de una turbina de gas constituida esencialmente por tres partes. En la parte delantera se encuentra el *compresor*, un órgano acoplado en la entrada del motor, compuesto por etapas alternadas de álabes giratorios (rotores) y álabes fijos (estatores) de diámetro decreciente. Los rotores comprimen progresivamente el aire aspirado contra los álabes del estator, reduciendo su volumen y aumentando consecuentemente su presión a medida que el aire pasa de la parte anterior del motor a la sección central. En esta zona se encuentran las *cámaras de combustión*, en el interior de las cuales el aire a presión es mezclado con el combustible, dando lugar a una combustión a alta temperatura. Los gases calientes que se originan salen a gran velocidad por la parte posterior de las cámaras y se dirigen hacia una *turbina* formada por una o más fases. La turbina está unida al compresor mediante un árbol de transmisión y le proporciona la energía necesaria para su funcionamiento. Aproximadamente las dos terceras partes de la energía producida por la combustión son absorbidas por el compresor; el resto de energía es la que suministra el empuje necesario para el vuelo del avión. Además del compresor, la cámara de combustión y la turbina, el turborreactor tiene otros componentes, como el *difusor* de entrada de aire y la *tobera* de salida de gases, sin contar los numerosos dispositivos y válvulas.

Aunque los turborreactores necesitan dispositivos auxiliares para el arranque, que permiten llevar a la turbina al régimen de funcionamiento, una vez que se

Sección longitudinal de tres tipos de motores a reacción. En el esquema superior, motor con compresor centrífugo: el aire es aspirado según una dirección axial desde la toma anterior; después es comprimido y enviado, siguiendo una dirección radial, a la cámara de combustión. Los gases son expulsados a través de la tobera. En el centro, esquema de motor con compresor axial: en este caso el aire entra y sale del compresor siguiendo siempre una dirección axial. Esta configuración permite una sección frontal menor que la anterior. En el esquema inferior se muestra un motor axial con postquemador: en la zona posterior del conjunto de la tobera hay una cámara de combustión que se encarga de suministrar energía adicional a los gases de escape del motor.





Los motores a reacción, al no precisar hélice, son muy compactos y, consiguientemente, pueden ser acoplados según varias configuraciones a la estructura del avión. En los esquemas que figuran arriba, a la izquierda, se muestran varias configuraciones, de las que algunas han quedado obsoletas: motor posterior dorsal; motor en el fuselaje; sigue dos acoplamientos ventrales; dos motores en el interior de la estructura alar; dos motores suspendidos en góndolas bajo las alas; dos motores en góndolas a los lados del fuselaje en la zona de cola; tres motores, dos en góndolas a los lados del fuselaje en la zona de cola y el tercero en la cola también (en la raíz del timón vertical); estructura alar. En la ilustración del centro puede verse un avión de pasajeros con tres motores (dos bajo las alas, y el tercero, en la base del timón vertical). Se trata del *Mc Donnell Douglas, DC-10*. En la fotografía inferior se pone de relieve la tobera del motor a reacción que equipa al entrenador *MB 339* de la compañía Aermacchi. Sea cual sea la colocación del motor, siempre necesita poder descargar libremente los gases hacia atrás: la elevadísima masa de dichos gases es la que proporciona al avión el empuje necesario para su desplazamiento.



KLM

ha iniciado la combustión son capaces de funcionar en régimen autónomo hasta que se interrumpe el suministro de combustible. Los turborreactores presentan una elevada relación entre la potencia suministrada y el peso del motor, sobre todo si están dotados de *postquemador* (cámaras de combustión secundarias), pero su consumo específico es muy elevado a cota y velocidad bajas (en estos casos las hélices tradicionales son mucho maś eficaces).

Una variante del turborreactor es el *turbofan*, en el cual los álabes de la primera etapa del compresor son más largos, de modo que el rotor de la primera etapa tiene un diámetro mayor y sobresale en forma de molinillo exterior o *fan*. Aunque la mayor parte del aire pasa a través del compresor, el resto, empujado por el *fan*, pasa por fuera del compresor creando un flujo de aire secundario. Cuando ese flujo se une a los gases de escape, aumenta la superficie de contacto de éstos çon el aire exterior, lo que reduce sensiblemente el nivel de turbulencia —responsable del ruido del motor— y el consumo específico a baja velocidad y a baja cota. Por estas razones, el *turbofan* es generalmente utilizado en los aviones de transporte civil.

Mencionaremos también otros dos tipos de motor a reacción: el turbohélice y el estatorreactor.

El *turbohélice* es esencialmente un motor a reacción híbrido, en el cual la mayor parte de la potencia es invertida en hacer girar una hélice colocada en la sección anterior del motor. Esta variante une el elevado rendimiento a baja velocidad de la propulsión por hélice con la fiabilidad y



Aermacchi, Varese

la elevada relación potencia/peso del motor a reacción.

El *estatorreactor* es el más simple de los motores a reacción, quedando limitada su utilización a condiciones particulares. Dicho motor no tiene compresor, cuya función es desempeñada por una especial toma de aire que permite comprimir el aire en la cámara de combustión a velocidad subsónica o supersónica. Al no haber compresor, toda la energía producida puede ser transformada en empuje, obteniendo de esa forma motores extremadamente potentes con relación al peso y a la simplicidad constructiva. Sin embargo, el funcionamiento de este motor está supeditado a velocidades de vuelo muy altas. Por esta razón, los aparatos que adoptan este tipo de propulsores necesitan motores auxiliares (generalmente cohetes) a fin de alcanzar la velocidad necesaria para el funcionamiento del estatorreactor. A pesar de ello, las prestaciones de estos propulsores en el campo de las altas velocidades hacen interesante su empleo en la propulsión de misiles guiados.

Aviones a reacción Debido a su potencia, velocidad y a su forma alargada, el motor a reacción ha revolucionado el proyecto de los aviones. Lo que antes se puso en evidencia fue la mejora en el diseño aerodinámico de los aviones a reacción, que los convirtió en aparatos de líneas finas y alargadas en relación con sus predecesores con motores de émbolo. En general, puede decirse que la aparición de los potentes motores a reacción permitió duplicar la velocidad, la cota de vuelo y la capacidad de carga de los aparatos. Esto influyó notablemente en los tiempos de vuelo, que experimentaron una reducción variable entre diez y seis horas sobre una ruta París-Nueva York, en cotas de vuelo que pasaron desde 6.000 metros (con los aviones dotados de motores de émbolo) a 12.000 metros (con los reactores); además, el número de pasajeros transportable superó los ciento veinte.

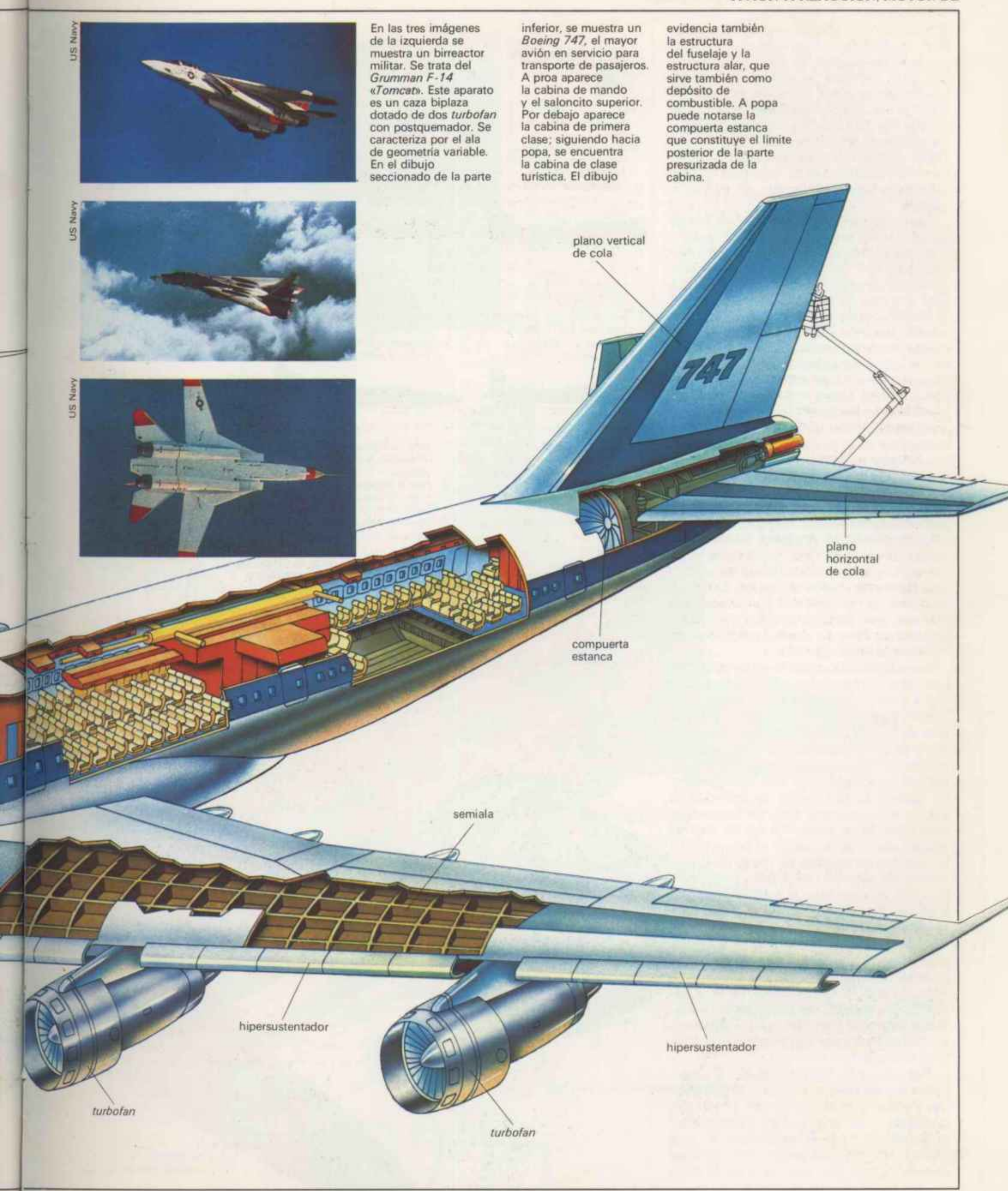
Formas nuevas La evolución en el proyecto de aviones fue muy rápida. Los perfiles alares pasaron de tener formas gruesas, macizas, como las del *DC-3* de Douglas, apropiadas para conseguir elevados coeficientes de sustentación en régimen de vuelo subsónico, a tener formas más afiladas y con menos curvatura. Como las alas producen esencialmente dos tipos de fuerza: la de sustentación, que sostiene al avión en el aire, y la de resistencia, que se opone a su movimiento, los proyectistas se propusieron realizar alas con mejor relación sustentación/resistencia. Además, en los últimos años, los motores empezaron a colocarse en la zona final del fuselaje, casi debajo de los planos horizontales de cola, en lugar de situarlos en las alas. Estos dos hechos llevaron a unas alas situadas más atrás en el fuselaje, que dieron a los aviones esa forma característica de flecha.

Las modificaciones aportadas al diseño de las alas con el fin de aumentar la velocidad de vuelo tuvieron que acompañarse de revolucionarias innovaciones que permitieran aumentar el coeficiente de sustentación a baja velocidad, es decir, en las fases de despegue y aterrizaje, ya que, aunque un avión de transporte de pasajeros vuele con una velocidad de crucero de aproximadamente 950 km/h, deberá reducir su velocidad hasta unos 300 km/h, o incluso menos, para tomar tierra. Esta exigencia ha llevado a la realización de varias configuraciones de hipersustentación, tanto en el borde de ataque como en el de salida del ala, con el fin de aumentar la sustentación a baja velocidad, y de aerofrenos retráctiles en las superficies alares, para incrementar notablemente la resistencia del perfil.

Los motores a reacción permitieron también aumentar enormemente las dimensiones de los aparatos. Mediados los años sesenta, la Boeing Aircraft Company realizó el primer *B-747, jumbo jet*, capaz de transportar hasta 500 pasajeros y de realizar con facilidad vuelos sin escala desde Nueva York hasta Tokio. A finales de los años sesenta apareció también el primer avión supersónico para transporte de pasajeros, el *Concorde*, nacido de un programa de cooperación anglo-francés, que es capaz de volar desde Londres hasta Nueva York en menos de tres horas.



Véase **Ala de avión; Avión, estructura y producción; Avión, motor de; Avión, proyecto de; Avión supersónico; Estatorreactor; Turbina de gas**



En las tres imágenes de la izquierda se muestra un birreactor militar. Se trata del *Grumman F-14 «Tomcat»*. Este aparato es un caza biplaza dotado de dos *turbofan* con postquemador. Se caracteriza por el ala de geometría variable. En el dibujo seccionado de la parte inferior, se muestra un *Boeing 747*, el mayor avión en servicio para transporte de pasajeros. A proa aparece la cabina de mando y el saloncito superior. Por debajo aparece la cabina de primera clase; siguiendo hacia popa, se encuentra la cabina de clase turística. El dibujo evidencia también la estructura del fuselaje y la estructura alar, que sirve también como depósito de combustible. A popa puede notarse la compuerta estanca que constituye el límite posterior de la parte presurizada de la cabina.

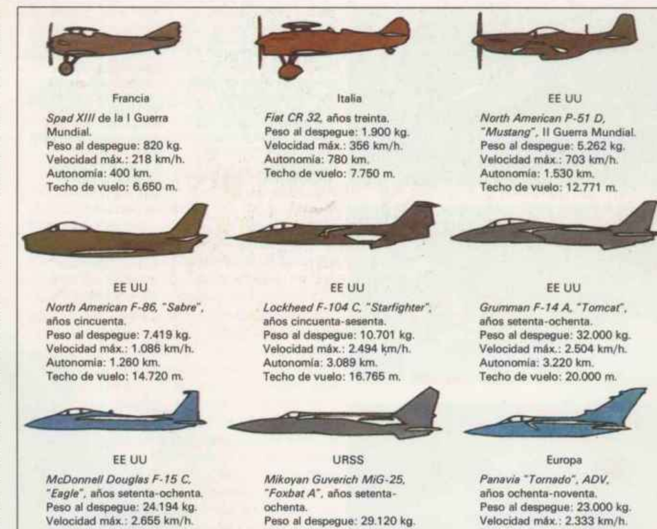
Avión de intercepción

Durante la II Guerra Mundial los bombardeos se realizaban con aviones polimotores de gran alcance, baja velocidad pero capaces de volar a gran altura. Contra las grandes flotas de aviones de este tipo, la defensa antiaérea tenía una limitada efectividad. Una defensa eficaz la constituía, sin embargo, el avión interceptador: un aparato, generalmente monoplaza y monomotor, dotado de armas de tiro, (ametralladoras y cañones) de pequeño calibre.

Las características que debían reunir estos aviones eran: alta velocidad, posibilidad de alcanzar cotas elevadas, gran maniobrabilidad (podríamos decir capacidad acrobática) y una discreta autonomía. Con aviones de este tipo se contrarrestó la ofensiva aérea sobre Inglaterra, y Japón intentó paliar los ataques estadounidenses contra bases terrestres y navíos. La defensa de los bombarderos contra los cazas consistía en algunas ametralladoras situadas a bordo, sobre todo en la cola del avión (lugar donde es más conveniente el ataque para un interceptador veloz), y, en la medida de lo posible, en el acompañamiento por parte de aviones de escolta, con características de vuelo parecidas a las de los interceptadores enemigos. Sin embargo, una característica diferenciaba a los aviones de escolta respecto de los interceptadores: los primeros necesitaban disponer de una gran autonomía para acompañar a los bombarderos en los largos trayectos desde las bases hasta los enclaves de los objetivos y mantener a la vez una gran maniobrabilidad a gran velocidad en caso de combate al encontrar resistencia en el objetivo.

Las exigencias arriba mencionadas dieron lugar a una evolución del interceptador a lo largo de la II Guerra Mundial y en las décadas sucesivas. Actualmente, la misión de bombardeo se ha diversificado. En parte ha sido confiada a los misiles (incluso con cabezas nucleares), contra los cuales los interceptadores son ineficaces, y en parte a bombarderos de tipo clásico sub o supersónicos, que se mantienen bien lejos de las posibilidades de contraataque aéreo del enemigo al lanzar sobre el objetivo no bombas de caída libre sino misiles de alcance intermedio, por lo que también en este caso el interceptador es ineficaz. Finalmente, otra parte ha sido confiada a los cazabombarderos, aviones del tipo de los interceptadores, a veces más grandes y pesados, que sin embargo pueden alcanzar velocidades bisónicas (dos veces la del sonido, unos 2.300 km/h). En el caso de penetración y ataque a baja cota fuera del campo del radar, el interceptador apenas puede hacer algo para evitarlo.

Por otro lado, los bombarderos supersónicos y los cazabombarderos polivalentes vuelan a velocidades del orden del doble de la del sonido. Para desempeñar el papel de los interceptadores de la II Guerra Mundial, estos aparatos tendrían que ser mucho más veloces y por lo tanto



El armamento de un interceptador lo constituían en el pasado ametralladoras y cañones de pequeño calibre. Actualmente, el combate aéreo no se desarrolla ya a corta distancia y es necesario —una vez localizado con el radar de a bordo— derribar el avión enemigo mediante misiles aire-aire. Los cañones y ametralladoras han desaparecido, pero siguen en la dotación de los cazabombarderos, que los utilizan sobre todo contra objetivos terrestres. El interceptador ideal debe poseer dos características fundamentales: ser muy veloz (hoy casi todos superan el Mach 2) y muy maniobrable. Por lo que se refiere a la autonomía, puede ser aumentada mediante la utilización de tanques auxiliares de combustible. La dotación de aviónica debe ser completa e "integrada": radar multifunción (navegación, ataque, vigilancia), "contramedidas" y "contra-contramedidas" electrónicas. En el dibujo de al lado, sección del *McDonnell Douglas F-15*.

asiento lanzable en caso de emergencia

depósito suplementario

sonda para reabastecimiento en vuelo

radar

equipos de aviónica



Vista frontal de un *McDonnell Douglas F-15 "Eagle"*, el caza americano de los años ochenta. La entrada en servicio de un nuevo aparato de este tipo es siempre una empresa laboriosa y compleja: mientras el caza está todavía en fase de construcción, se empieza el entrenamiento de los pilotos para aprender a aprovechar al máximo las cualidades del aparato. La plena operatividad, para un avión de estas características, se alcanza, pues, al cabo de varios años.

Military Aircraft of the World, Yama-Key Publishers - Japan.

deberían alcanzar por lo menos el triple de la velocidad del sonido, unos 3.300 km/h; lo que ocurre es que a esas velocidades el avión alcanza temperaturas tan elevadas que las aleaciones de aluminio no son ya adecuadas, y en su lugar es necesario emplear titanio y aceros inoxidables. Por estas razones, muchas de las tareas del interceptador se confían a los misiles.

A pesar de todas estas dificultades, el interceptador es todavía un tipo de aparato adecuado para situaciones bélicas particulares. Por esta razón, el interceptador moderno se ha orientado hacia varios campos de especialización. Un primer tipo es el interceptador puro, es decir, un avión muy ligero, dotado de armas para el combate aéreo, cañones de pequeño ca-

turborreactores de doble flujo

aerofreno

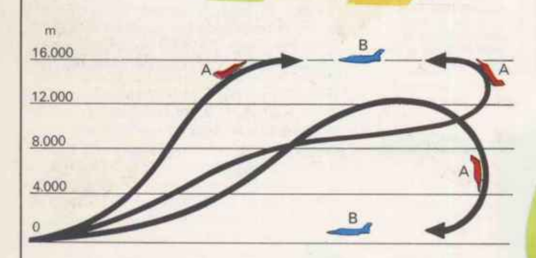
misil aire-aire guiado por radar

misil aire-aire con guía por infrarrojo

bombas de caída libre (armamento alternativo)

pod para contramedidas electrónicas

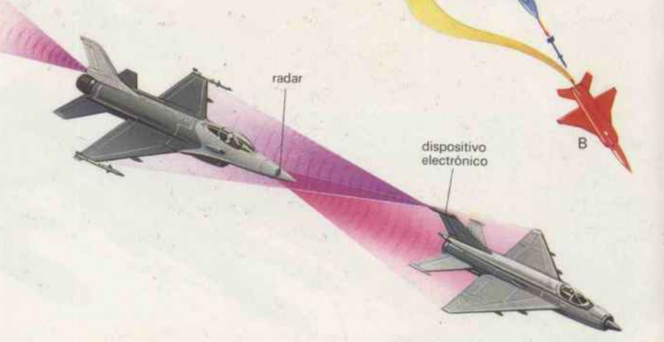
En el esquema inferior, el avión A maniobra para alcanzar a B, incursor enemigo, a lo largo de distintas trayectorias, para finalmente entablar combate con los misiles. En el dibujo de la derecha, un ejemplo de combate a corta distancia. En los virajes más fuertes, el avión de geometría variable A abre las alas para maniobrar mejor y al final ganará el combate contra el avión B, que no ha sido capaz de maniobrar para mantener la ventaja inicial (es decir, el hecho de encontrarse detrás de A).



libre, ametralladoras y naturalmente misiles aire-aire. La URSS dispone hoy de la flota más numerosa de este tipo de aparatos.

En Occidente se ha recurrido a una fórmula distinta, de aviones más polivalentes. Se considera muy importante la instrumentación electrónica de a bordo que debe servir para el empleo de las armas. Esta "electrónica" consiste en algunos equipos básicos, importantes e invariables al cambiar la misión del aparato: es decir, los instrumentos de navegación y el radar de tiro con los equipos que conlleva. Tan importantes como éstos son los equipos de "contramedidas electrónicas", que sirven al avión para defenderse de las armas del enemigo; son los mismos instrumentos tanto si el aparato está dispuesto para ser utilizado como interceptador que si lo está para servir de bombardero de penetración a baja cota. Para desempeñar este segundo tipo de misiones debe poseer una capacidad de carga superior a la del interceptador puro. De hecho, en estas condiciones, el aparato, que a veces lleva más de cinco toneladas de bombas y misiles, ve reducida su velocidad, tanto por el peso del armamento como por la resistencia aerodinámica que éste produce. A pesar de ello, sigue siendo capaz de alcanzar velocidades ampliamente supersónicas y de volar a grandes alturas. De todas formas, si no está cargado con todas esas armas, es más veloz, más maniobrable y sube más alto y más deprisa. De modo que este tipo de avión no puede ser considerado como un interceptador puro, sino más bien como un cazabombardero. Sin embargo, existen muchas variantes con una configuración de este tipo: algunas son más interceptador que bombardero, y

Abajo, el avión perseguido puede ser alcanzado por las armas del perseguidor dirigidas por radar o por sistemas incorporados a las mismas armas. Sin embargo, el avión perseguido posee dispositivos electrónicos que emiten señales capaces de confundir a los sistemas de guiado de las armas del enemigo, con lo cual está protegido.



Actualmente se están estudiando en Estados Unidos varios proyectos de cazas inspirados por distintas "filosofías", pero todos destinados a obtener tres resultados: un peso y un volumen —y, por lo tanto, una traza-radar— reducidos; velocidad y maniobrabilidad cada vez mayores; un reducido consumo de combustible y costos de operación cada vez menores. En la página siguiente, arriba, algunas configuraciones propuestas por los constructores estadounidenses para los interceptadores de los años noventa y posteriores. En 1, la configuración con alas en flecha invertida, que ofrece una mejor distribución de la carga

y una mayor maniobrabilidad a bajas velocidades; en 2, una versión de *Grumman* para el vuelo a gran altura; en 3, al contrario, una configuración para muy baja cota; en 4, un interceptador con motores de empuje "vectorial", con capacidad de despegue vertical. Los *Convair F-106* de los años sesenta (foto inferior), cazas interceptadores puros, que confiaban su misión casi exclusivamente a las capacidades intrínsecas de sus misiles, han dejado sitio a los *F-16* de los años ochenta (foto superior), típicos interceptadores que desempeñan combates a corta distancia y funciones de cazabombardero.





Fotos: Military Aircraft of the World, Yama-Key Publishers-Japan

otras justamente al contrario. En algunas de estas versiones —es el caso del *Tornado* europeo— el ala es de "geometría variable", es decir, la envergadura aumenta en vuelo subsónico y disminuye, aflechándose el ala, en vuelo supersónico.

En general, las prestaciones de un avión interceptador puro deberían consistir en un despegue rápido en caso de alarma para ir al encuentro del aparato enemigo, contra el que utilizaría sus armas en un combate que muy probablemente implicaría acrobacia. Pero esta misión puede tener muchas variantes, y en algunas podría ser necesario volar lentamente a baja cota y después acelerar a tope y trepar rápidamente hasta gran altura. Esto pone condiciones muy estrictas a los motores: deben ser relativamente económicos en vuelo de vigilancia, donde se les pide poco empuje y, en consecuencia, una velocidad relativamente modesta; pero, en otros casos, deben ser capaces de pasar a un régimen de gran empuje, en cuyo caso el consumo de combustible es muy superior, siendo también mucho mayor la velocidad horizontal y de ascenso. Esto se consigue con la "postcombustión".

Una de las características más importantes del interceptador es que ha de ser un aparato "todo-tiempo". Esto significa que debe ser capaz de desempeñar su misión de noche o con condiciones de visibilidad nula, pues, de no ser así, favorecerían el ataque enemigo. Además, y esto es importante, debe ser capaz de despegar y aterrizar en espacios relativamente cortos. Finalmente, la característica más difícil de alcanzar: el costo no muy elevado.

Véase **Aviación militar; Bombardero; Cazabombardero**

Avión de transporte ligero y *STOL*

El avión de transporte que predomina en los campos civil y militar es el de grandes dimensiones. Pero tanto las operaciones bélicas como los transportes civiles no podrían seguir adelante sin la ayuda de aviones de transporte con capacidad limitada y ciertas ventajas respecto a los de gran capacidad.

La realización de un avión de las características mencionadas no es nada difícil, pero empieza a serlo cuando se le quiere añadir una cualidad muy importante en las aplicaciones civiles y esencial en las militares: la posibilidad de despegar y aterrizar en espacios pequeños. Para vuelos intercontinentales con aviones de gran velocidad y capacidad son necesarias en general pistas de 3.900 metros. También existen pistas más largas, pero se usan para fines militares o para aviones experimentales. Para recorrido corto y aviones de capacidad no demasiado grande, se utilizan pistas más cortas, de 2.600 metros, aunque también éstas son consideradas como largas. Las pistas de aterrizaje empiezan a ser denominadas *cortas* cuando su longitud no es superior al kilómetro, y son destinadas a la llamada "aviación general", o sea, la privada y la deportiva.

En el campo táctico militar la necesidad de pistas cortas es apremiante. El construir y mantener en funcionamiento una pista de 2.000 m de longitud es muy distinto que hacerlo con una de 500 m. También es mayor la probabilidad de encontrar un terreno adecuado cuanto más pequeña es la longitud de la pista. De estas necesidades surge la idea del avión de despegue corto, identificado con el nombre de *STOL* (de las iniciales de *Short Take Off and Landing*). El *STOL* tiene que ser por tanto un avión capaz de despegar y aterrizar en un espacio pequeño. Normalmente, las pistas pequeñas se han construido pensando en aviones pequeños de peso limitado, por lo que no son aptas para soportar pesos ni muy grandes ni muy concentrados. Los aviones más grandes tienen mucho peso, con neumáticos pequeños de alta presión que empujan sobre el suelo transmitiendo presiones muy elevadas: sobre una pradera se hundirían, y sobre pistas pensadas para aviones pequeños triturarían el asfalto o el hormigón.

Por tanto, es indispensable que los aviones *STOL*, independientemente del peso, transmitan bajas presiones al suelo, lo que se consigue con muchas ruedas y neumáticos grandes de baja presión. Si no se tomaran las debidas precauciones, se realizarían aviones gravados por el peso de los trenes de aterrizaje, que actuarían como un lastre capaz de limitar la capacidad y aumentar el consumo.

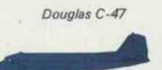
Cuando se dice que una pista corta se puede situar sobre un terreno encontrado por las buenas, como se hace a menudo durante una guerra, se sobreentiende que es fácil localizar una zona plana de algunos cientos de metros. Sin embargo, se descuida otra característica importante en un aeropuerto: el que no haya relieves u

Al avión militar de transporte ligero se le exigen cualidades que le den gran versatilidad, como el ser capaz de llevar cargas de todo tipo y el poder utilizar pistas poco preparadas. Aquí debajo vemos el *Aeritalia G-222* —aparato para el que se prevé servicio hasta el final de la década de los noventa— en el momento de dejar en vuelo rasante una carga sobre *pallet*, frenada durante su deslizamiento en el suelo por un pequeño paracaídas. Los motores del *G-222* son dos turbohélices.



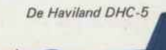
Entre las características que ha de tener un avión para poder efectuar aterrizajes y despegues cortos (*STOL*) está la de que su ala tenga una buena aerodinámica, especialmente un notable alargamiento. Esta característica contrasta con la de los fuselajes achatados, que pueden alojar las cargas más variadas. Abajo, en la página de enfrente, se ven —en a) y b)— las longitudes de pista y los obstáculos estándar que superan los aviones de transporte *STOL* y —en c)— la comparación entre un despegue convencional (1) y un despegue corto o *STOL* (2).

Douglas C-47



Douglas C-47 "Skytrain/Dakota": velocidad máx., 370 km/h; autonomía, 2.574 km; capacidad aprox. de carga, 4.000 kg ó 27 pasajeros.

De Haviland DHC-5



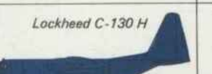
De Haviland Canadá DHC-5 "Búfalo": velocidad máx., 271 km/h; espacio para velocidad de despegue, 290 m; autonomía, 3.280 km; capac. de carga, 41 pasajeros.

C.A.S.A. C-212



C.A.S.A. C-212 "Aviocar": velocidad máx., 363 km/h; autonomía, 1.670 km; capacidad aproximada de carga, 2.585 kg ó 26 pasajeros.

Lockheed C-130 H



Lockheed C-130 "Hércules": velocidad máxima, 618 km/h; autonomía, 4.000 km; capacidad de carga, 92 pasajeros.

I.A.I.-201 Arava



I.A.I.-"201 Arava": velocidad máx., 326 km/h; espacio para velocidad de despegue, 290 m; autonomía, 1.300 km; capacidad de carga, 2.300 kg ó 24 pasajeros.

Antonov An-72



Antonov An-72 "Coaler": velocidad máx., 680 km/h; espacio para velocidad de despegue, 470 m; autonomía, 3.200 km; puede transportar 32 pasajeros.

paracaídas

carga sobre *pallet*

rampa de descarga bajada

otros obstáculos en las cercanías; y a menudo esta necesidad es todavía más difícil de satisfacer que la de encontrar una pista larga. Por este motivo es importante que el *STOL* pueda continuar un cierto trecho después de despegar, con una rampa de subida lo suficientemente empinada para evitar los obstáculos.

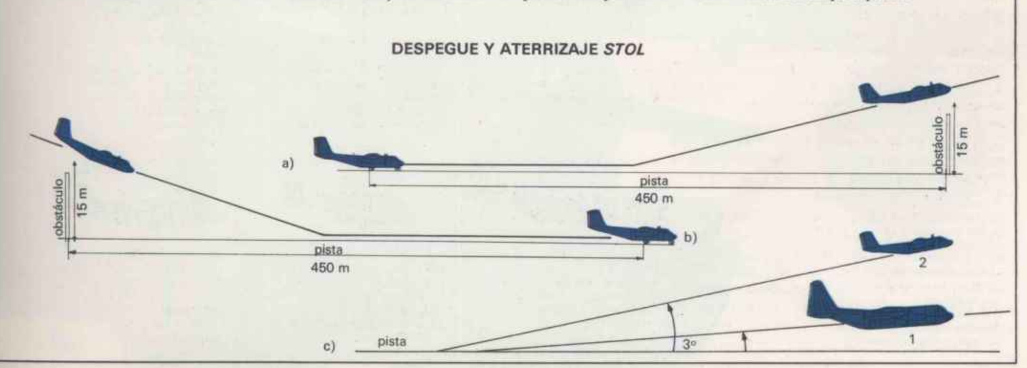
Se han estudiado y aceptado muchas configuraciones de avión capaces de satisfacer estas necesidades. La fórmula adoptada hoy en día es el resultado de más de veinticinco años de experiencia. En este período de tiempo se ha desarrollado también una fórmula que compite con la del *STOL*: la del avión de despegue y aterrizaje completamente verticales. Este tipo de avión ha surgido de la aplicación de dos ideas distintas. La primera es la del ala giratoria, o sea, del helicóptero. Este tipo de máquina volante puede ser muy útil en misiones que no compiten con las específicas del *STOL*, lo que le ha permitido desarrollar su propio mercado. La segunda idea es una que se ha intentado en muchos casos, incluido el *STOL*: se trata de tener la posibilidad de mover hélices y motores a reacción de forma que soplen hacia abajo durante el despegue, para después orientarse hacia atrás con el paso al vuelo horizontal. Este sistema hace muy difícil el mantener la posición y resulta muy costoso desde el punto de vista del combustible (mientras dura la fase de vuelo vertical o fuertemente oblicuo). Una vez que la idea se ha llevado a cabo, se ha aceptado y aplicado totalmente, como en el caso del avión caza *Harrier*, de fabricación inglesa, embarcado en los portaviones.

El avión *STOL* ha encontrado su sitio con una configuración de motores a reacción de baja velocidad o de turbohélice y alas dotadas de potentes dispositivos hipersustentadores que aseguran una capacidad de carga muy elevada en las fases de despegue y aterrizaje, incluso a bajas velocidades. De esta forma el avión puede alcanzar las velocidades de despegue en sólo unos cientos de metros. Además, después del despegue (o antes de aterrizar) puede subir (o bajar) con una trayectoria empinada que le permite salvar los posibles obstáculos de los límites de las pistas. Como es natural, en estas fases el consumo de combustible es mayor; en cualquier caso, nunca se alcanzará el consumo propio de un sistema de despegue totalmente vertical.

La fórmula adoptada en estos aviones les da mucha versatilidad, por lo que a menudo se puede ver el mismo modelo en usos civiles y militares. Entre los más conocidos se encuentran el *Hércules* (EE UU), el *Búfalo* (Canadá) y el *G-222* (Italia). Se trata de aviones que a menudo han ayudado al salvamento de poblaciones afectadas por calamidades en zonas remotas de países desarrollados y subdesarrollados, llevando provisiones y evacuando heridos y enfermos en localidades inaccesibles para aviones de otro tipo.

Véase **Avión de transporte pesado**

DESPEGUE Y ATERRIZAJE *STOL*



Avión de transporte pesado

No debe sorprender el hecho de que en sus primeros años de vida el avión no se concibiera como un medio de transporte de mercancías. La orientación de la primera fase de su desarrollo, después de que el avión demostrara sus posibilidades durante la I Guerra Mundial, estaba dirigida únicamente al transporte de pasajeros y correo, tanto por la fragilidad de la estructura como por la escasa potencia de los motores. Hizo falta la II Guerra Mundial para demostrar que el avión podía realizar extraordinarias empresas de transporte de cargas pesadas en largos trayectos. El *Red Ball Express* transportó cargas militares de todo tipo, de las industrias bélicas de Estados Unidos a las zonas de combate en China y Birmania, a través de Sudamérica, el Atlántico meridional, Africa y la India.

Estas operaciones, que también se desarrollaban en el Pacífico, eran llevadas a cabo por versiones militares de los aparatos civiles de la época: el *C-47 (DC-3)*, el *C-54 (DC-4)* y otros. Tras la guerra, el transporte de mercancías por vía aérea demostró pronto ser un gran negocio. En 1945 se fundó la Flying Tiger Lines, conocida por entonces como la National Skyway Freight Corporation, seguida de cerca por la Seabord & Western Airlines. Poco tiempo después los aviones empezaron a ser adaptados específicamente para este tipo de transporte, e incluso comenzaron a ser construidos pensando en tales tareas.

La más espectacular demostración de lo que se puede realizar con el transporte por avión fue el "puente aéreo" de Berlín entre 1948 y 1949. Debido a una disputa sobre el acceso a esta ciudad (que se había repartido entre las cuatro grandes potencias aliadas), los soviéticos bloquearon todas las carreteras, las líneas férreas y los canales navegables, ya que además de un sector de Berlín controlaban el territorio de la República Democrática Alemana, que los demás aliados debían atravesar para acceder a la antigua capital alemana. El general Lucius Clay, que mandaba el sector estadounidense, respondió con el abastecimiento aéreo, utilizando en él todos los aviones de transporte norteamericanos disponibles en Europa. Las veinticuatro horas del día, y con un flujo ininterrumpido, los *C-47*, *C-46*, *C-54* y cualquier otro aparato que estuviera disponible transportaban a Berlín carbón, alimentos, gasolina e incluso dulces para los niños, con un ritmo de aterrizaje de un avión cada minuto y medio.

Diez años después se habría podido realizar el mismo trabajo con menos aviones. Los aparatos empleados en el "puente aéreo" de Berlín tenían una capacidad de carga aproximadamente de 4 tm, con un alcance de 2.400 km; en 1965, el reactor de transporte *C-141* de la Air Force podía transportar 45 tm, con una autonomía de 4.800 km. En 1970 el *Lockheed C-5A*, un avión construido para misiones de "logística global", entró en servicio con una capacidad de carga de 110 tm y una autonomía de casi 6.000 km. Se ha calculado que diez de estos *C-5A* habrían podido hacer todo el trabajo de la flota aérea empleada en Berlín.

Del mismo modo que el *DC-3* en el traslado de pasajeros, una piedra angular capaz de demostrar lo que puede hacer un buen avión de transporte en el traslado de mercancías por vía aérea fue el *Douglas DC-8-63F*, transformación del primitivo avión de línea de la Douglas, el *DC-8*. Conocido como *Super Sixty DC-8*, este avión era la versión alargada del modelo original, cuyo espacioso fuselaje parecía concebido a propósito para dar cabida a cargas pesadas y voluminosas. La Flying Tiger Lines puso en servicio diecinueve *Super Sixty*.

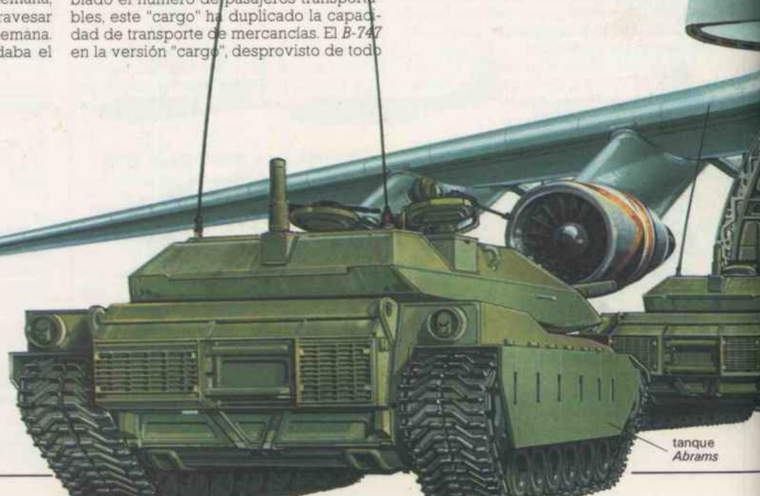
El sucesor del *Super Sixty* en el campo del transporte civil ha sido el *Boeing 747*, el primero de la nueva generación de *jumbo jet*.

Del mismo modo que el *B-747* ha doblado el número de pasajeros transportables, este "cargo" ha duplicado la capacidad de transporte de mercancías. El *B-747* en la versión "cargo", desprovisto de todo el equipamiento interno, excepto dos rampas de carga, es más parecido a un hangar que a un avión. Puede transportar contenedores de medidas normalizadas, como los que se cargan en trenes y en camiones.

Es sorprendente el hecho de que actualmente no exista prácticamente nada que no pueda ser transportado por vía aérea, en forma más segura, y sobre todo más rápida, que con cualquier otro medio de transporte, aunque con un costo superior. Las fuerzas armadas pueden trasladar a cualquier lugar del mundo divisiones enteras de soldados totalmente equipadas y con el apoyo logístico necesario. Las empresas que trabajan con mercancías voluminosas y delicadas, como los motores de los cohetes espaciales, pueden enviarlas por vía aérea hasta su lugar de destino. Así, en 1963, un avión *Boeing Stratocruiser* fue adaptado para el transporte de cohetes a cabo Kennedy. El aparato fue alargado cinco metros y se le dotó de un compartimento de carga de seis metros de anchura. Después de haber transportado los cohetes, ha llevado también partes del *Airbus* (un gran avión producido por un consorcio de sociedades alemanas, españolas, inglesas e italianas) hasta la línea de montaje en Toulouse, Francia.

Los primeros vuelos del *Space Shuttle* (transbordador espacial), coronados por el éxito, han demostrado que el transporte aéreo está preparado para ir más allá de las simples misiones entre bases terrestres; por primera vez existe un aparato que puede moverse entre dos mundos, y cómodamente en ambos, capaz de abrir nuevos horizontes.

Véase **Aeronáutica y aerodinámica; Aviación militar; Avión de transporte ligero y *STOL***



Más de cien toneladas es la carga que puede transportar el *Lockheed C-5 "Galaxy"*, el avión de transporte más potente del mundo. Es también el más grande: la deriva vertical se eleva 21 m del suelo. En la imagen lo vemos mientras embarca dos tanques pesados *Abrams*. Las cargas concentradas son más fáciles de almacenar en cualquier vehículo que las ligeras y heterogéneas; éstas plantean en un avión de transporte el problema de una correcta distribución del peso sobre el suelo.

Messerschmitt ME-323

Messerschmitt ME-323 Gigant (Alemania) de la II Guerra Mundial. Peso en despegue, 43,5 tm; con seis motores de más de mil caballos, podía transportar 120 soldados con equipo completo (ó 60 heridos) hasta una distancia de 1.300 kilómetros.

Savoia-Marchetti SM-82

Savoia-Marchetti SM-82 (Italia) de la II Guerra Mundial. 17,8 tm en despegue; con tres motores de 860 CV, era capaz de transportar 5 tm de carga variada (ó 28 soldados) hasta una distancia de 3.000 km; un récord para la época.

Douglas C-133

El *"Cargomaster"* (EE UU) de los años cincuenta, con cuatro motores de 6.500 CV, puede levantar un peso de 124 tm, con una autonomía de 6.395 km; capaz de alojar 200 soldados, además de misiles balísticos.

Lockheed C-141

El *C-141 "Starlifter"* de la Lockheed, con más de 143 tm de peso al despegue, tiene cuatro motores a reacción de 9,5 tm de empuje; autonomía, 10.370 km; 40 tm de carga útil.

Lockheed C-5

El gigantesco *Galaxy* es capaz de elevarse con un peso de 348 tm (de las cuales, 100 son de carga útil), y tiene una autonomía de más de 6.000 kilómetros.

Illyushin IL-76

El *IL-76* (Illyushin, URSS) tiene características similares a las del *C-141*.

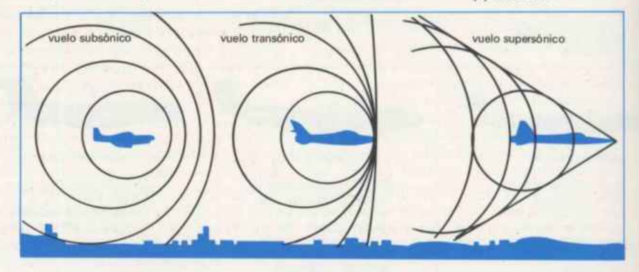
El transporte militar impone el traslado de materiales de muy diversos tipos: a veces, densos; otras, voluminosos, y las más, de tipo mixto. Las distancias sobre las que se realiza el transporte pueden ser pequeñas, como imponen las exigencias tácticas, o muy grandes, incluso intercontinentales, para satisfacer necesidades estratégicas, como ocurre en el caso de los grandes puentes aéreos. Una de las exigencias más restrictivas es la de la pista de aterrizaje: se supone que en guerra hay que utilizar pistas no preparadas, sobre las que no se pueden posar trenes de aterrizaje que soportan una elevada carga específica. Por lo tanto, los aparatos capaces de gran carga deben distribuirla sobre trenes de aterrizaje de muchas ruedas. Además, se supone que las pistas se han trazado en lugares frecuentemente rodeados de obstáculos; en este caso, a los aviones de transporte se les exige buenas dotes de despegue y aterrizaje corto. Es decir, se trata de exigencias a menudo contradictorias. Por esta razón, los constructores de este tipo de aparatos presentan soluciones con prestaciones alternativas (por ejemplo: la máxima capacidad de carga no se puede tener al mismo tiempo que la máxima autonomía). De ahí que los estados mayores militares deban realizar cuidadosos estudios "sobre el papel" antes de aprobar los proyectos de los constructores, para poder estar seguros de que los aviones, una vez construidos, serán realmente útiles en las circunstancias previstas en los posibles conflictos.



Avión supersónico

La era del vuelo supersónico comenzó el 14 de octubre de 1947, cuando el capitán Charles "Chuck" Yeager superó por primera vez la barrera del sonido con el avión experimental *Bell X-1*. Por fin se realizaba el sueño de técnicos y amantes del vuelo: un avión capaz de volar más rápido que el sonido. Pero debía transcurrir mucho tiempo antes de que se empezasen a disfrutar las ventajas del vuelo supersónico.

El avión en vuelo subsónico (abajo, izquierda) es precedido por las ondas sonoras (ondas de presión) que produce su proa. En régimen transónico (centro), todas las ondas se acumulan frente al morro del avión, puesto que poseen su misma velocidad. En vuelo supersónico, por el contrario, el avión perfora el frente de ondas, ya que su velocidad es superior. En la siguiente página, arriba, el ala en los tres regímenes: mientras en el subsónico el punto de aplicación de la fuerza de sustentación está adelantado, en el supersónico se atrasa y en el transónico se desplaza alternativamente hacia adelante y hacia atrás. De esta forma el avión sufre continuas vibraciones y debe acelerar lo más posible para evitar tensiones excesivas en su estructura. En régimen supersónico, el avión debe conseguir que su baricentro se desplace para mantener una configuración de vuelo constante sin actuar sobre los estabilizadores horizontales de cola, pues ello produciría un intolerable efecto de resistencia aerodinámica. Se logra mediante el trasvase de lastre o de combustible entre los depósitos anteriores y posteriores.



La velocidad de un objeto que se mueve en el aire se expresa por un número de *Mach* (nombre del físico austriaco Ernst Mach), es decir, por la relación entre su velocidad y la velocidad del sonido en el aire que lo rodea. ¿Qué sucede cuando un avión supera el Mach 1, es decir, precisamente la velocidad del sonido? Pues bien, poco que pueda observarse a bordo: una leve vibración en los instrumentos de control y ninguna reacción violenta del aparato. Después el silencio total, puesto que el avión se desplaza a una velocidad superior a la de las ondas sonoras que el paso del mismo produce.

Por el contrario, en tierra se escucha el *bang supersónico*. Este fenómeno es producido por dos ondas de choque separadas entre 60 y 150 metros, generadas por un cono de alta presión que se extiende por detrás del morro del aparato y por otro cono semejante, pero de baja presión, que parte de la cola del avión. En tierra, el *bang* se percibe como una especie de doble explosión, cuya mayor o menor intensidad depende de las dimensiones, velocidad y altitud de vuelo del avión que las produce, pero que en cualquier caso es lo bastante fuerte para hacer que los edificios retumben.

La aviación militar fue la primera en alcanzar las velocidades supersónicas. Los cazas capaces de volar a Mach 1 fueron rápidamente superados por aviones que volaban a Mach 2, y después a Mach 3. Pero una de las leyes que rigen el vuelo supersónico es: velocidad significa calor. Por esta razón empezó a ser necesario emplear en la construcción de los aparatos el acero inoxidable y el titanio, con lo cual los costos subieron a niveles astronómicos.

Los primeros aparatos que entraron a formar parte de los grandes aviones supersónicos fueron dos bombarderos estadounidenses: El *Convair B-59 "Hustler"* y el *North American XB-70 "Valkyrie"*. El *XB-70* estaba construido en acero y titanio para así ser capaz de volar a Mach 3. Los costos en el desarrollo del avión fueron enormes; sin embargo, no llegó a entrar en servicio. El *Hustler* fue utilizado por las fuerzas aéreas de Estados Unidos (USAF) durante unos quince años, entre el final de los años cincuenta y principios de los setenta. Actualmente está a punto de entrar en servicio el *B-1*, mucho más moderno, de geometría variable y con dotes de transparencia a las ondas de radar. El desarrollo de este aparato, que se paralizó durante la administración Carter por su enorme costo, ha sido reactivado por la administración Reagan.

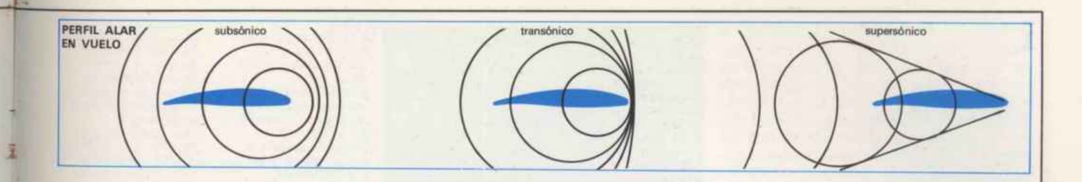
Estados Unidos, participante favorito en la carrera para la construcción del primer avión supersónico destinado al transporte de pasajeros, el *SST*, desistió del empeño después de que un consorcio anglo-francés presentara su primer prototipo del *Concorde*, un avión supersónico capaz de alcanzar el Mach 2, y la Unión Soviética hubiera ya realizado las primeras pruebas en vuelo del *Tupolev Tu-144*, de características análogas a las del *Concorde*.



Dubois/Grazia Neri

En Estados Unidos la compañía Boeing había optado por la construcción, con la ayuda del gobierno, del *Boeing 2707*, avión con ala de geometría variable proyectado para velocidades próximas a Mach 3, es decir, aproximadamente 2.800 km/h. El problema más difícil con que el *Boeing* debería enfrentarse era la temperatura de 260 °C que se esperaba encontrar en este orden de velocidad. Sin embargo, el gobierno de Estados Unidos se

p



rindió ante una campaña a escala nacional, en el año 1971, en contra del *SST*.

Tras el abandono por parte de Estados Unidos, dos prototipos quedaron para mantener en alto el pabellón del transporte supersónico: el *Concorde* y el *Tu-144*. Se trata de aviones que alcanzan el Mach 2 con velocidades del orden de 2.300 km/h; por lo tanto, al tener que soportar temperaturas del orden de 120 °C, ha sido necesario emplear en ellos una aleación de cobre y aluminio. Otras innovaciones necesarias se refieren a un sistema de bombeo selectivo del combustible entre los depósitos situados en la mitad anterior del aparato y los de la mitad posterior, para mantener constantemente el centro de gravedad del aparato en la posición más adecuada. El paso de las velocidades relativamente bajas necesarias en las fases de despegue y aterrizaje a las muy altas del vuelo de crucero supersónico, se efectúa de forma progresiva.

El *Concorde* había ya demostrado que podía volar desde Londres a Nueva York en tres horas y media, la mitad del tiempo empleado por los reactores convencionales, pero también había evidenciado que en la época actual, de combustible caro, 120 pasajeros en cada viaje no son suficientes para garantizar un margen de ganancia suficiente. Además, a pesar de que Washington y Nueva York hayan abierto finalmente sus aeropuertos al tráfico de los *Concorde*, la mayoría de los norteamericanos —preocupados por el ruido y la polución— se muestra hostil al supersónico, sobre todo por temor a su *bang*.

Véase **Acústica; Aerodinámica y aeronáutica**

fuselaje
protección del parabrisas
cono aerodinámico
configuración normal en vuelo
configuración aerodinámica en despegue y aterrizaje

En la fotografía de la izquierda, el *Concorde* y el *Spirit of Saint Louis*, con el que Charles Lindbergh realizó en 1927 la primera travesía del Atlántico. La envolvente cónica de las ondas de choque de un supersónico (a) intersecciona el terreno a lo largo de una línea en forma de parábola o hipérbola (p). Sobre los puntos de esta línea es donde se escucha con mayor intensidad el *bang*. La velocidad superior a la del sonido impone a los aviones una aerodinámica muy cuidada, con líneas muy afiladas. Desde la cabina de mando del *Concorde* no puede verse la pista por las inclinadas posiciones que adopta el aparato en el despegue y el aterrizaje. Por esta razón es necesario bajar, con el mecanismo apropiado, el morro y retirar del parabrisas anterior la protección contra el calentamiento por rozamiento aerodinámico, tal como se ilustra arriba.

Aviónica

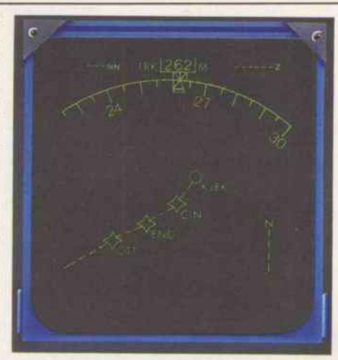
Cuando se encontraron aviación y electrónica, nació la aviónica, es decir, la ciencia que trata del desarrollo de los dispositivos eléctricos y electrónicos para la aviación. La aviónica, una ciencia tan nueva como la de los transistores que han posibilitado su desarrollo, se está extendiendo a una vasta gama de aplicaciones que hasta hace unos pocos años era inimaginable.

La aviónica dio sus primeros pasos a principios de los años veinte, con la introducción de las comunicaciones por radio en los aviones. Siguió un primer sistema de navegación aérea muy sencillo, en el cual una estación de radio enviaba una señal a un avión, que, interceptándola con un receptor especial instalado a bordo, era capaz de determinar la dirección de donde venía. El sistema, llamado *radiofaro cuatridireccional*, consistía en un emisor que enviaba cuatro haces de ondas de radio perpendiculares entre sí y orientados según unas direcciones preestablecidas. Cada haz transmitía simultáneamente las letras "A" y "N" en alfabeto Morse. En el centro del haz las letras se superponían, de forma que se producía un zumbido continuo; a cada lado del haz, se separaban, formando en un lado la señal "A" y en el otro la señal "N". De esta forma el piloto podía reconocer de qué lado del haz se encontraba y podía alcanzar su centro para seguir la dirección deseada. El radiofaro cuatridireccional se utilizó durante muchos años e incluso hoy se emplea en algunos lugares.

A finales de los años treinta las comunicaciones por radio entre los aviones y entre éstos y tierra eran ya usuales. Sin embargo, las dimensiones y el peso de los aparatos de radio —todavía funcionaban con lámparas incandescentes— limitaban su utilización; únicamente después de la II Guerra Mundial, cuando los transistores fueron ya de uso frecuente, se pudieron perfeccionar los equipos de radio de a bordo, reduciendo sus dimensiones y mejorando sus cualidades.

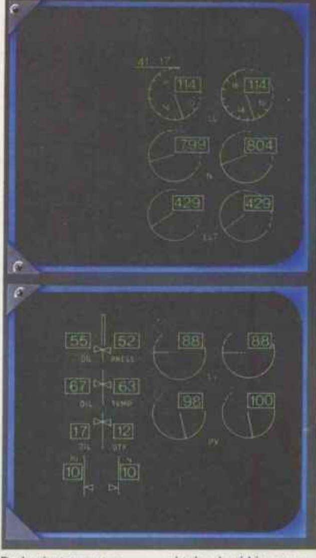
En aviación, las comunicaciones VHF (del inglés *Very High Frecuency*, es decir: Muy Alta Frecuencia) se convirtieron en el tipo de comunicaciones más utilizado. En general, puede decirse que cuanto más alta es la frecuencia de emisión son menores las interferencias, y las comunicaciones en VHF demostraron ser con mucho las mejores, tanto para la comunicación como para la navegación. Actualmente, los equipos de comunicaciones y de navegación están contenidos en aparatos cuyo tamaño no es mayor que el de un autorradio, y las operaciones de emisión y de recepción están completamente automatizadas.

De todas las funciones desarrolladas por la aviónica, la navegación es seguramente la más importante. En este campo ha sido fundamental la aparición del *radiofaro omnidireccional*. Adoptado por las líneas aéreas estadounidenses en los años cincuenta, simplificó muchísimo la nave-



En el pasado, la mayor parte de los instrumentos a bordo de un avión suministraba los datos mediante esferas situadas en el cuadro del piloto. Con los años este sistema se ha ido complicando, y el número de instrumentos ha ido aumentando; de esta manera la atención del piloto debía repartirse entre indicadores cercanos y lejanos.

En un avión como el moderno birreactor de línea, el número de instrumentos no debería ser excesivo, ya que la mayor parte de éstos está relacionada con los motores, que son sólo dos. La complejidad de la instrumentación ha llevado a la presentación de datos en pantallas de rayos catódicos alternos, como la que aparece a la izquierda.

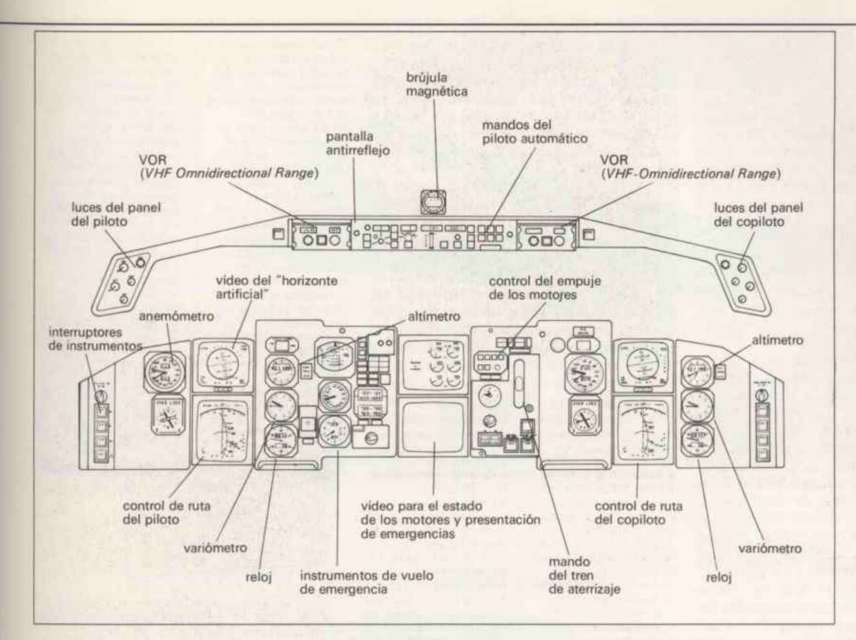


La versatilidad de un buen sistema con tubo de rayos catódicos, sobre todo si es en colores, se aprovecha a fondo en el sistema de dos tubos catódicos colocado en el centro del cuadro de mandos del *Boeing 767*. A la derecha, la pantalla de arriba presenta datos referentes al estado de los motores durante su funcionamiento. Los cuadrantes y las agujas se dibujan con la fluorescencia de la pantalla, y se puede alternar la representación de distintos parámetros. En la misma pantalla aparecen además, y de modo automático, las señales que advierten de un funcionamiento anormal de algún punto del aparato. En la pantalla de abajo, por el contrario, aparecen solamente los datos de los sistemas de los que la tripulación del aparato haya solicitado determinados parámetros.





De los instrumentos a la izquierda, el de arriba (llamado EADI, y más comúnmente *Horizonte Artificial*) informa al piloto sobre la "actitud del avión en el espacio": es uno de los más útiles para la navegación aérea y la determinación de la posición del aparato. En el centro de la esfera se representa la silueta estilizada de un avión, sobrepuesta a una esfera que se estabiliza en ella mediante un giroscopio. Si su posición se regula correctamente cuando el avión se encuentra perfectamente horizontal en tierra, seguirá manteniéndola durante el vuelo. En vuelo, indicará si el avión vira a la izquierda o a la derecha. Independientemente, un péndulo o bolita en el tubo de vidrio curvo (debajo del cuadrante) señalará la variación sobre el eje vertical del aparato. El instrumento de abajo es la pantalla del EHSI, en la que se representan los datos que se refieren a la "situación horizontal" —es decir, los datos referentes a la ruta—, la progresiva posición de los puntos de referencia del vuelo y, sobrepuestas a ellos, las formaciones nubosas detectadas por el radar del avión. En la pantalla del EHSI, en particular, es posible introducir datos relativos a una cierta ruta a seguir, que serán suministrados al piloto automático. La pantalla se encargará después de informar al piloto sobre el correcto proceder de la navegación.



A la izquierda y abajo, la simple y compacta disposición de los instrumentos en el panel de mandos del *Boeing 767*, un modelo de simplicidad y eficacia en la presentación de datos de aviónica. Aquí se relacionan únicamente los principales instrumentos. Abajo, la imagen de conjunto muestra que el número de instrumentos parece muy reducido; en realidad la posibilidad de alternar datos en las pantallas evita sobrecargar el panel con cuadrantes de instrumentos de consulta no habitual.

Giorgio Apostolo

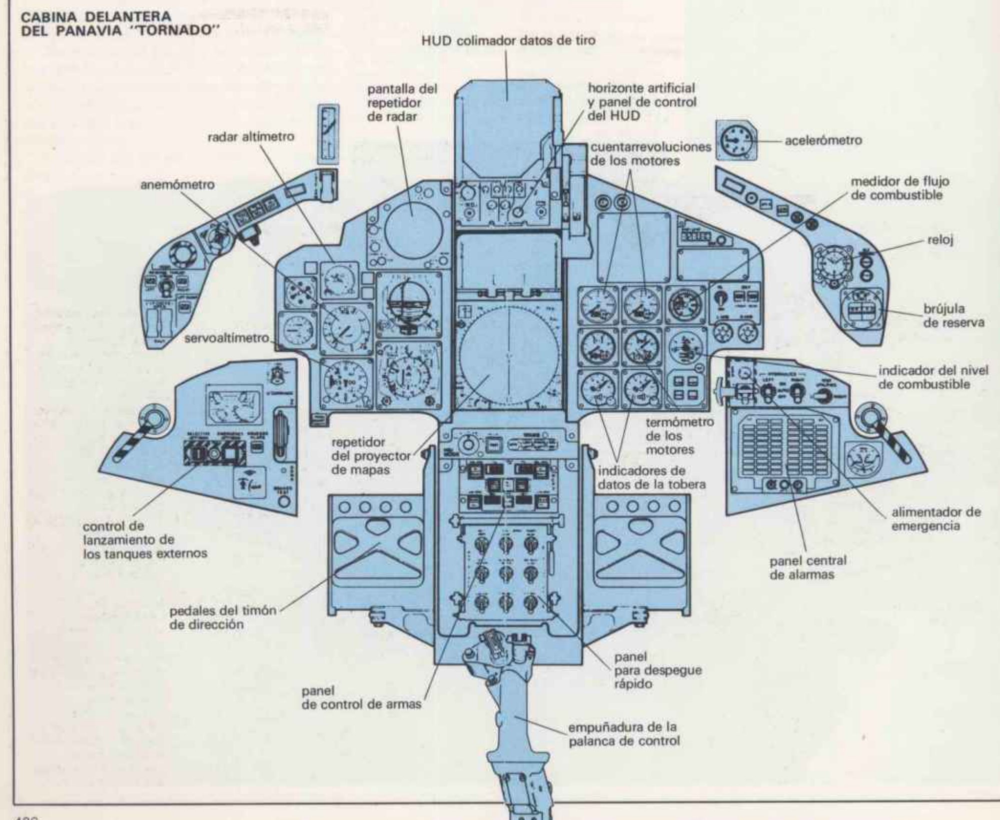
gación, ya que bastaba seguir una indicación visual de dirección. Un radiofaro situado en tierra enviaba haces de señales de alta frecuencia "radiales", es decir, sobre sus 360º de acimut, uno para cada división de la brújula. El receptor de a bordo, una vez sintonizada la estación de tierra, identificaba el radial que el avión estaba atravesando y una flecha indicaba si el vuelo era desde o hacia la estación. De esta forma era posible determinar inmediatamente la posición del avión en el mapa, y el piloto podía sobrevolar regiones enteras sin apartar la vista del mapa y de los instrumentos de navegación. Este sistema de navegación, llamado *VOR* (*VHF Omnidirectional Range*), es el más utilizado actualmente.

Otra importante contribución de la aviónica fue el *radar de a bordo*, adoptado por la aviación comercial a principios de los años cincuenta, pero que ya había sido bastante utilizado por algunos tipos de aviones militares durante la II Guerra Mundial. Funcionaba con el mismo principio que su homólogo de tierra: impulsos de radio emitidos por el avión eran reflejados por cualquier perturbación atmosférica que encontrasen, y representados por puntos luminosos o "señales de retorno" en la pantalla. Hoy, el mismo sistema, miniaturizado, se emplea incluso en avionetas de turismo.

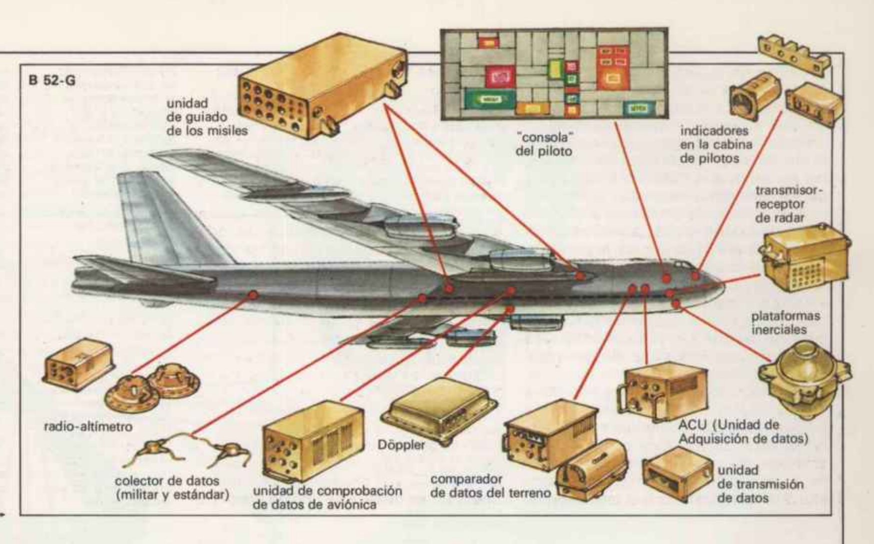
El *transponder*, o radar secundario, es un sofisticado equipo actualmente indispensable para la seguridad de los vuelos en los aeropuertos de gran tráfico. Una vez que el avión ha entrado en el radio de acción del radar de la estación de control en tierra, que regula el tráfico aéreo de entrada y salida del aeropuerto, el transponder transmite automáticamente, cuando es interrogado por el radar de tierra, los números de identificación del avión y su altitud, con lo cual queda perfectamente identificado para el controlador de tierra. Estas informaciones aparecen como una serie de números cerca del punto luminoso que indica el avión en la pantalla del operador en tierra. Este tipo de identifica-

En la aviación civil, la instrumentación de aviónica sirve para las necesidades de control de los motores y de los demás aparatos de a bordo, y para la navegación. En el avión militar se dan las mismas exigencias y además se añaden, por un lado, las impuestas por los sistemas de armas, que exigen una gran cantidad de medidas y de elaboraciones para poder efectuar un disparo eficaz de armas sofisticadas y, por otro, las derivadas de adoptar "contramedidas" electrónicas y hasta, eventualmente, "contracontramedidas". Sobre un aparato de combate biplaza, como el *Panavia "Tornado" IDS*, el piloto está sentado en el asiento anterior, y un "operador de sistemas", detrás. Para comprender mejor las funciones de los distintos instrumentos se representan esquemas de la distribución de los mismos en los cuadros de los pilotos. En el caso de estos aviones superveloces, dotados de una gran capacidad de maniobra, los instrumentos deben ser capaces de responder a los cambios de estado o posición en tiempos muy breves, del orden de la décima de segundo o menos. En algunos casos, a los instrumentos clásicos para la navegación y disparo se asocian dispositivos totalmente estáticos, como, por ejemplo, el que sirve para apuntar armas como ametralladoras o cañones de tiro rápido.

CABINA DELANTERA DEL PANAVIA "TORNADO"



Ningún avión militar en el mundo ha tenido tan larga vida como el *B-52* (a la derecha). Este aparato está en servicio desde hace treinta años. ¡Como si al final de la II Guerra Mundial hubiesen combatido en el aire aviones del período precedente a la I Guerra Mundial! Desde el tiempo en que entraron en servicio los primeros modelos, la aviación de caza y los misiles han hecho enormes progresos. Sin embargo, este avión ha conseguido superar tales factores con únicamente pequeñas variaciones en los motores, pero con grandes cambios en su instrumentación electrónica. Los instrumentos de que está dotado actualmente le →



CABINA TRASERA DEL PANAVIA "TORNADO"

altímetro
indicador de la velocidad combinada
vídeo de datos del radar y mapa de navegación
video para datos tácticos y de navegación
vídeo para datos tácticos y de navegación
luz de aviso de alarma
luz de aviso de alarma
panel de control de armas
"horizonte artificial"
selector del modo de tiro de las armas
panel de control del modo de navegación
panel central de alarmas

→ permiten no solamente navegar con seguridad sobre distancias intercontinentales sin la ayuda de bases en tierra, sino también efectuar el lanzamiento de armas muy sofisticadas sobre objetivos a gran distancia. Una amenaza real sólo puede alcanzarlo partiendo de atacantes que vengan de distancias muy lejanas; y aún así podría escapar de ellos alejándose a la máxima velocidad, o confundirlos con sistemas de contramedidas electrónicas. Estos últimos, que a bordo de semejante aparato no tienen limitaciones de peso ni espacio, pueden ser lo suficientemente eficaces como para impedir al adversario el disparo de sus , armas o, si se efectúa, desviarlas lejos de sí.

ción activa hace posible que los controladores de vuelo dirijan los aviones hacia zonas seguras, a la espera de la orden de aterrizaje en la pista correspondiente.

También ha sido desarrollado un sistema de *aterrizaje automático*, mediante el cual un avión que vuele en condiciones atmosféricas adversas puede ser guiado en un aterrizaje seguro mediante su piloto automático, sin que el piloto toque los mandos. Es en realidad un aprovechamiento del llamado ILS (*Instrument Landing System*), ayuda radio-eléctrica para el aterrizaje instrumental, que es conectado por el piloto en la fase de aproximación del avión al aeropuerto. Un emisor en tierra emite haces de ondas de radio que son seguidas por el avión hasta que llega a la pista de aterrizaje: un haz horizontal para controlar la senda de aproximación y otro vertical para controlar la dirección.

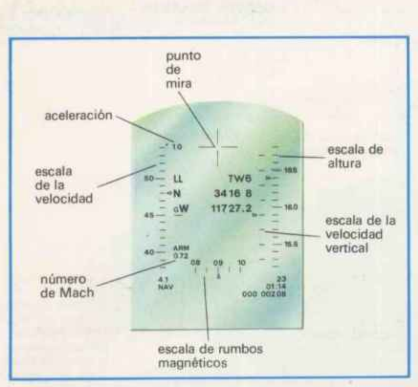
El último logro de la aviónica podría ser el *sistema anticolisión*, todavía no totalmente desarrollado a pesar de las intensas investigaciones. Se están estudiando dos sistemas: uno, instalado a bordo, y otro en tierra, a base de equipos de radar extremadamente cuidados que siguen constantemente a los aviones en vuelo y calculan las eventuales rutas convergentes que podrían llevar a situaciones peligrosas. Localizada una posible convergencia de trayectorias, se envía inmediatamente una señal de peligro a los aviones involucrados para que realicen maniobras que los lleven a zonas de seguridad. Todo lo dicho hasta ahora vale esencialmente para la aviación civil.

La aviónica militar es mucho más compleja y actualmente ha alcanzado metas tecnológicas tan elevadas que casi obligan a los proyectistas de aviones a realizar sus proyectos "alrededor" de ella.

Basta observar el interior de la cabina de un caza como el *F-14 "Tomcat"* para darse cuenta de lo que representa actualmente la instrumentación de un avión: el cuadro y las consolas laterales no tienen

En esta página, el sistema *Head-Up-Display*, es decir, "pantalla de presentación de cabeza erguida" de los distintos parámetros de vuelo y de misión. El HUD consiste en un cristal inclinado delante del piloto y a la altura de sus ojos, en el cual aparecen los datos proporcionados por un sistema de presentación electrónico con tubo de rayos catódicos. A la derecha puede verse el esquema óptico, el recorrido de los rayos y la forma en que se combinan. La utilidad del HUD consiste en que el piloto, en la fase crucial de la misión, no precisa apartar la mirada del exterior para controlar los instrumentos del cuadro: mirando hacia adelante ve lo que ocurre fuera de la cabina y al mismo tiempo, en la pantalla del HUD, ve lo que señalan los instrumentos. Debajo, la posición del sistema en el cuadro de instrumentos (en los aviones de combate más recientes, el HUD es la parte más importante de toda la instrumentación, y por lo tanto ocupa el mayor espacio): delante del piloto e inmediatamente detrás de la burbuja transparente de la cabina. A la izquierda, la pantalla del HUD, es decir, la placa transparente sobre la que aparecen reflejados los parámetros elegidos al actuar sobre los botones de control situados en la consola del mismo (como muestra el dibujo inferior).

parabrisas
visor
imagen del visor de rayos catódicos
visual del piloto
lente de enfoque a infinito
tubo de rayos catódicos
espejo



un centímetro cuadrado libre, ya que están totalmente saturados de toda clase de mandos, indicadores e interruptores.

El piloto (en el caso de aparatos como el *Tomcat*, la tripulación está compuesta por dos hombres: el piloto y el "operador de sistemas", en la práctica el navegante) está normalmente ayudado en su cometido por la completa automatización de todos los componentes de la aviónica de a bordo, en el sentido de que su trabajo consiste esencialmente en comprobar el buen funcionamiento de todos los equipos, que literalmente "dialogan" entre sí.

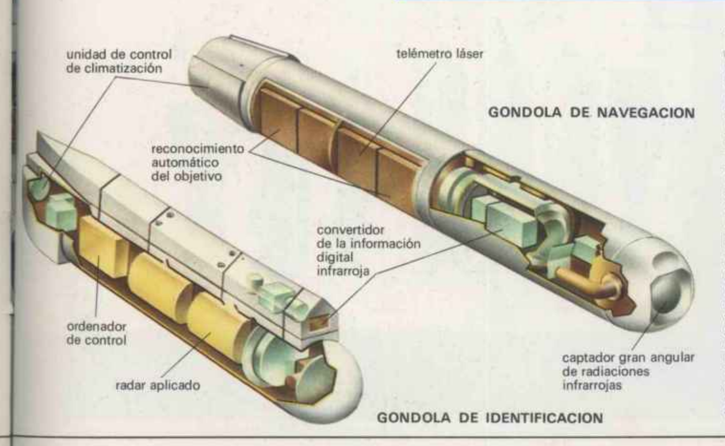
Actualmente, la aviónica de un aparato de combate consiste normalmente en: *a*) el radar montado en el morro del aparato; *b*) un ordenador para la dirección de tiro; *c*) un sistema de navegación inercial; *d*) un sistema de presentación de datos "a nivel de los ojos" (el llamado *Head-Up-Display*); *e*) un sistema de elaboración de los datos de vuelo; *f*) el IFF (*Identification Friends or Foe*), un sistema para responder a la "interrogación" dirigida a establecer si el avión es amigo o enemigo; *g*) un sistema de contramedidas electrónicas activas y pasivas para protegerse de las interferencias electrónicas del enemigo y producirlas a la vez.

En los aviones de combate de la última generación, los equipos de aviónica han alcanzado una perfección y una eficiencia casi absolutas. En el *F-16* norteamericano se está experimentando incluso un sistema de mando vocal, es decir, los instrumentos de a bordo funcionarían obedeciendo órdenes dictadas de viva voz por el piloto, según un lenguaje precodificado e introducido en el ordenador de a bordo.

Véase **Electrónica; Piloto automático**

electrónica
protección del visor
visor antisolar
sensores LED de posición del visor
visor
sensor LED
mecanismo de bajada del visor
batería LED
prisma óptico
encuadre del objetivo
telecámara con hendidura en V





Arriba, el sistema HOPS, el sensor de posición óptica que permite al piloto, a través de un casco especial, dirigir un misil hacia el objetivo que él mismo está mirando. Dos dispositivos con columnas de diodos emisores permiten conocer la orientación exacta del casco. El piloto sólo debe preocuparse de mirar hacia el objetivo; la orientación espacial del casco dirigirá el misil. En el centro, dos aviones, el *F-16* y el *A-10*, en los cuales se montan los sistemas de aviónica de navegación, identificación del objetivo y control de la trayectoria del misil; funcionan prácticamente sin la ayuda del piloto, que sólo interviene durante una breve fase de la utilización del sistema. A la izquierda, los dos sistemas: el primero sirve para la navegación, el segundo, para la identificación del objetivo. Es posible identificar el objetivo, incluso de noche, tanto a través del reflejo radar como de su emisión infrarroja. Una vez identificado, si el piloto decide el ataque, el misil se lanza y se dirige hacia el objetivo ayudado por el sistema de identificación, el cual apunta, por ejemplo, un haz de láser sobre el objetivo, que inmediatamente sirve de guía y orientación al misil.

Azúcar

El azúcar es esa deliciosa sustancia blanca que endulza nuestros alimentos y bebidas, nos proporciona energía y, desgraciadamente, nos puede hacer engordar. Pero el término *azúcar*, en su concepción más amplia, se aplica genéricamente a los glúcidos, y en especial a los monosacáridos y disacáridos; los cristales y terrones que constituyen el azúcar de mesa son, específicamente, sacarosa.

Composición física El azúcar tiene como fórmula química $C_{12}H_{22}O_{11}$. Funde a 185-186 °C, y a alrededor de 200 °C se transforma en caramelo, adquiriendo una consistencia homogénea y masticable. La sacarosa es un disacárido, o sea, está formada por dos azúcares simples o monosacáridos: glucosa (dextrosa) y fructosa (lebulosa). La sacarosa es soluble en agua, y en seco se deposita en forma cristalina. Tratada con ácidos minerales, sufre un proceso llamado *inversión del azúcar*, cuyo resultado es una mezcla compuesta por igual número de moléculas de glucosa y de fructosa.

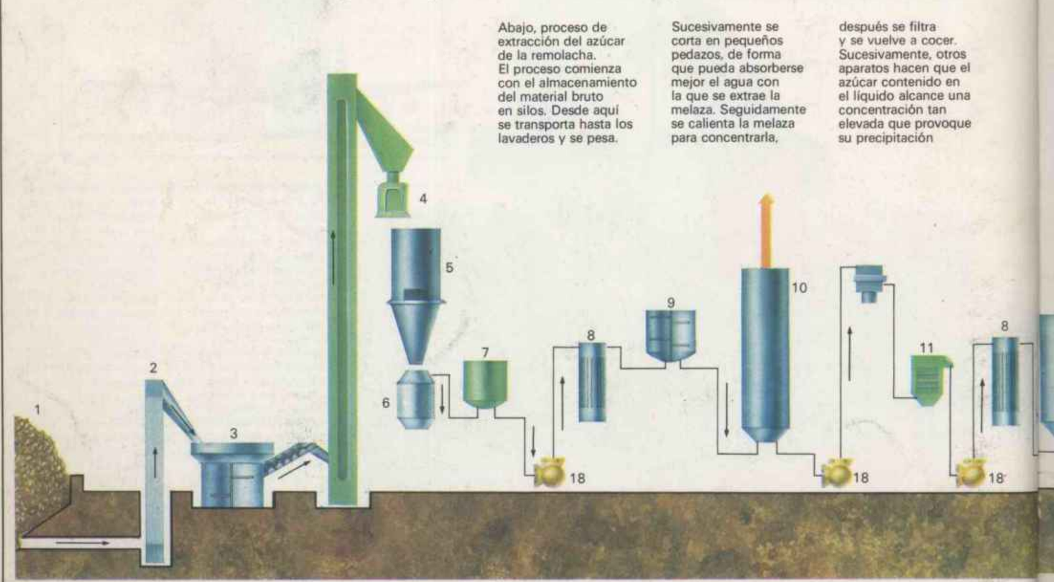
Otros azúcares comúnmente usados son la lactosa (presente en la leche) y la maltosa (obtenida al romper los almidones con el ácido y los enzimas). La sacarosa es uno de los azúcares más dulces: dando a la sacarosa un valor de referencia 1, la dulzura de la glucosa es 0,5-0,6; la de la lactosa, 0,27; la de la maltosa 0,6; mientras que para la fructosa, que es el más dulce, el valor es de 1,03-1,5.

Producción del azúcar La sacarosa es el resultado de un proceso llamado *fotosíntesis*, que se desarrolla en el interior de las plantas. En dicho proceso se forman los glúcidos a partir de dióxido de carbono y agua, en presencia de clorofila y utilizando la energía procedente del sol. La sacarosa está presente en todas las plantas verdes, aunque casi todo el azúcar producido comercialmente se extrae de la caña o de la remolacha azucareras.

El azúcar de caña se refina hasta llegar a la obtención de los conocidos cristales blancos, siguiendo un proceso que está formado por dos fases. La preparación del azúcar se lleva a cabo en lugares cercanos a las plantaciones de caña. Las cañas se exprimen mediante grandes prensas, tratándose luego el jugo obtenido con agua de cal para así evitar el proceso de inversión, que, de producirse demasiado pronto, provocaría una disminución del rendimiento final del proceso. Después, el jugo se filtra para purificarlo y se concentra mediante numerosas fases de evaporación al vacío. El vacío permite que la ebullición del jugo se produzca a temperaturas relativamente bajas, evitándose así que el jarabe de azúcar se carbonice. Con la ebullición se forman grandes cristales que después se separan del líquido por centrifugación. Esos cristales constituyen el azúcar bruta, que ya se puede enviar a las refinerías donde se llevará a cabo la segunda fase del proceso. En ellas, el azúcar bruta se limpia nuevamente "enjuagándola", eliminando así la película amarillenta que recubre a cada cristal. El agua, en la que previamente se han disuelto los cristales, se filtra para eliminar las impurezas restantes. El azúcar cristaliza, y los cristales, una vez separados del líquido por centrifugación, se secan con aire caliente. El líquido tiene que centrifugarse varias veces más para así separar todos los cristales de azúcar que son el azúcar refinado que llegará hasta nuestras mesas.

El azúcar de remolacha se extrae siguiendo un proceso análogo. Primeramente, las raíces de remolacha se cortan en finas rodajas, llamadas *cosetas*, que se colocan en difusores formados por recipientes cilíndricos unidos a unos calentadores que calientan el jugo y lo extraen. La solución bruta que contiene azúcar (el "jugo de difusión") se somete a un proceso de purificación, se trata con agua de cal y se purifica nuevamente, obteniéndose el "jugo fino". Dicho jugo se hace evaporar para que así cristalice el azúcar, y después se somete al mismo proceso de refinado que se emplea con el azúcar de caña.

Fuentes especiales Otras fuentes menores producen muchos tipos especiales de azúcar. El jarabe de glucosa (principalmente glucosa y un poco de maltosa), que se utiliza para aromatizar los caramelos, se obtiene por hidrólisis parcial del almidón del maíz. Dicho almidón también produce glucosa sólida y un jarabe (de almidón) con un alto contenido de fructosa, que se utiliza como sustitutivo de la sacarosa en productos de bollería y en bebidas sin alcohol. La miel que las abejas obtienen del néctar de las flores es azúcar invertida con pequeños porcentajes de vitaminas, sustancias nutritivas y distintos aromas de flores. El jarabe de arce —es decir, la savia concentrada de las plantas de arce— es principalmente sacarosa, pero debe su aroma característico a otros compuestos que se forman durante el tratamiento a



Abajo, proceso de extracción del azúcar de la remolacha. El proceso comienza con el almacenamiento del material bruto en silos. Desde aquí se transporta hasta los lavaderos y se pesa.

Sucesivamente se corta en pequeños pedazos, de forma que pueda absorberse mejor el agua con la que se extrae la melaza. Seguidamente se calienta la melaza para concentrarla,

después se filtra y se vuelve a cocer. Sucesivamente, otros aparatos hacen que el azúcar contenido en el líquido alcance una concentración tan elevada que provoque su precipitación





que se le somete. La lactosa, o azúcar de la leche, se produce en la leche descremada y en el suero. La melaza, un subproducto del refino del azúcar de caña o de remolacha, se utiliza como pienso para el ganado o se hace fermentar para obtener bebidas alcohólicas. El jarabe de sorgo es un concentrado de la savia del sorgo.

Valor nutritivo Los glúcidos, también llamados *hidratos de carbono*, son la fuente de energía principal en nuestra dieta. La sacarosa proporciona 394 kilocalorías de energía por kilogramo. Ya que el refino ha eliminado todas las otras sustancias nutritivas, se suele decir que el azúcar blanca suministra "calorías vacías".

No hay duda de que un exceso de azúcar puede contribuir a la obesidad; de todas formas, recientes investigaciones indican que todas las sustancias nutritivas necesarias se pueden encontrar en una gran variedad de alimentos y en cantidades que proporcionan sólo la mitad de las calorías que son necesarias diariamente, dejando así sitio para los alimentos azucarados. Además, se está readmitiendo el azúcar en las dietas para adelgazar, ya que puede contribuir a disminuir el apetito.

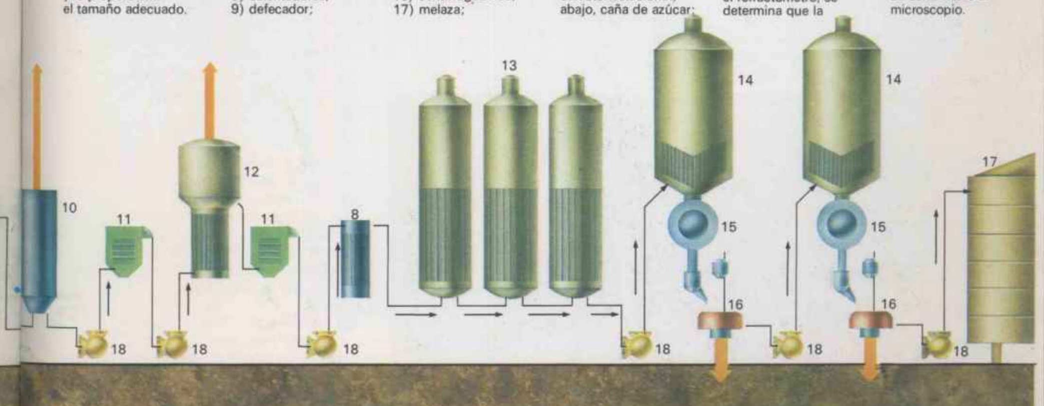
Un serio problema causado por el azúcar en las dietas es el referente a las enfermedades dentales. Se cree que la placa dental, que es la responsable de la formación de las caries, está formada por un glúcido complejo —llamado *dextrano*— producido por las bacterias durante el metabolismo de la sacarosa.

Véase **Glúcidos**

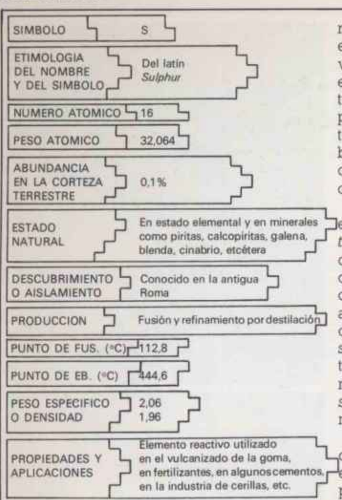




en forma de cristales. El cristal se podrá someter a un ulterior proceso de refino mediante una recristalización que aumenta su pureza y le proporciona el tamaño adecuado. 1) silo de remolacha; 2) elevador; 3) lavadero; 4) balanza automática; 5) cortadora; 6) batería de difusión; 7) tanque para la medida del jugo bruto; 8) calentadores; 9) defecador; 10) tanques de saturación; 11) filtros; 12) ebullidor; 13) evaporadores; 14) tanques de ebullición; 15) mezcladores; 16) centrifugadores; 17) melaza; 18) bombas. A la izquierda: arriba, recogida de remolacha, efectuada en Europa mediado el otoño. Por este motivo, el trabajo de las azucareras tiene carácter estacional; abajo, caña de azúcar; en los ápices de los tallos cortados se ve el parénquima medular en el que se encuentra el azúcar; la caña se corta cuando, mediante análisis realizados con el refractómetro, se determina que la concentración del azúcar en el jugo es máxima. A la derecha, arriba, cristales de azúcar de remolacha; abajo, partículas cristalizadas de azúcar de caña vistas al microscopio.



Azufre



SIMBOLO	S
ETIMOLOGIA DEL NOMBRE Y DEL SIMBOLO	Del latín *Sulphur*
NUMERO ATOMICO	16
PESO ATOMICO	32,064
ABUNDANCIA EN LA CORTEZA TERRESTRE	0,1%
ESTADO NATURAL	En estado elemental y en minerales como piritas, calcopiritas, galena, blenda, cinabrio, etcétera
DESCUBRIMIENTO O AISLAMIENTO	Conocido en la antigua Roma
PRODUCCION	Fusión y refinamiento por destilación
PUNTO DE FUS. (°C)	112,8
PUNTO DE EB. (°C)	444,6
PESO ESPECIFICO O DENSIDAD	2,06 1,96
PROPIEDADES Y APLICACIONES	Elemento reactivo utilizado en el vulcanizado de la goma, en fertilizantes, en algunos cementos, en la industria de cerillas, etc.

El azufre es uno de los "productos" químicos más útiles y de mayores aplicaciones en la actividad humana: pensemos, a título de ejemplo, que uno de sus compuestos, el ácido sulfúrico, es el principal producto utilizado en la industria química (es indispensable para la preparación de fertilizantes, colorantes, explosivos, fibras textiles artificiales, detergentes sintéticos y medicamentos, por citar sólo los más importantes).

Como elemento y en estado relativamente puro, el azufre se encuentra en grandes yacimientos en las proximidades de zonas volcánicas (Sicilia, Estados Unidos, México y Japón) y además se encuentra presente en forma de compuestos en muchos minerales, entre los que destacan el sulfuro de hierro (pirita), el sulfuro de plomo (galena) y el sulfato de calcio bihidratado (yeso). El azufre se presenta también como ácido sulfhídrico en las aguas de algunas fuentes termales (aguas sulfuradas), a las que proporciona un olor característico a huevos podridos. El azufre es también un elemento esencial para la vida. Está presente en algunas proteínas, entre las que se encuentran las que constituyen la piel y los cabellos. Los huevos, por ejemplo, son muy ricos en compuestos sulfurosos, y cuando se pudren se libera el azufre en forma de ácido sulfhídrico, que es el responsable de su inconfundible olor.

El elemento azufre puede presentarse en varias formas diferentes o *estados alotrópicos*. A la temperatura ambiente forma cristales del sistema rómbico (azufre alfa), que están constituidos por agrupación de ocho átomos. Si se calienta hasta 95 °C, el azufre forma cristales en forma de aguja del sistema monoclínico (azufre beta). Si se calienta a 119 °C, por encima de su punto de fusión, y después se enfría bruscamente, adopta una forma *amorfa* con consistencia de plástico y en cierto modo parecida a la de la goma.

Además de utilizarse en la fabricación de sus compuestos, entre los que destaca el ácido sulfúrico, el azufre se puede emplear directamente en la producción de fósforos, como el anticriptogámico, y en el vulcanizado de la goma (la adición de azufre a la goma natural aumenta la elasticidad de ésta, en tanto que no altera su flexibilidad, incluso a bajas temperaturas).

Extracción del azufre Cuando los depósitos de azufre están constituidos por gruesos cristales de mineral puro encajados entre rocas impermeables, la extracción se realiza mediante perforación del terreno con un taladro que posee tres tubos concéntricos. A través del tubo interno se bombea agua caliente que disuelve el azufre, en tanto que por el tubo externo se introduce aire comprimido que empuja la mezcla de agua y azufre y la obliga a salir a través del tubo intermedio. Este método es conocido como *sistema Frash*.

Compuestos de azufre El azufre forma con el hidrógeno el ácido sulfhídrico, o hidrógeno sulfurado, que da lugar con los metales a una serie de sales denominadas *sulfuros*.



Mediante combustión al aire, el azufre forma un gas, el anhídrido sulfuroso, que es el principal compuesto de los formados por combinación del azufre con el oxígeno y que es un intermediario obligado en la preparación del ácido sulfúrico. El anhídrido sulfuroso es también uno de los principales contaminantes atmosféricos, producto de la actividad industrial. Dado que el azufre está presente en los combustibles fósiles (petróleo y, sobre todo, carbón), entre sus productos de combustión se encuentra el anhídrido sulfuroso, que además puede oxidarse en el aire para dar anhídrido sulfúrico (otro compuesto gaseoso formado por combinación con el oxígeno). Este último, al humedecerse, da lugar a la formación de ácido sulfúrico, que puede ser vertido a la tierra a través de la lluvia. El fenómeno de las lluvias ácidas (que en algunos casos pueden alcanzar la acidez del vinagre) afecta a parte del norte de Europa y a Estados Unidos y representa una tremenda amenaza ambiental, en particular para los lagos y las explotaciones agrícolas. Incluso los monumentos de piedra sufren importantes degradaciones por esta causa, tanto mayor cuanto más próximos se encuentren a las zonas industriales.

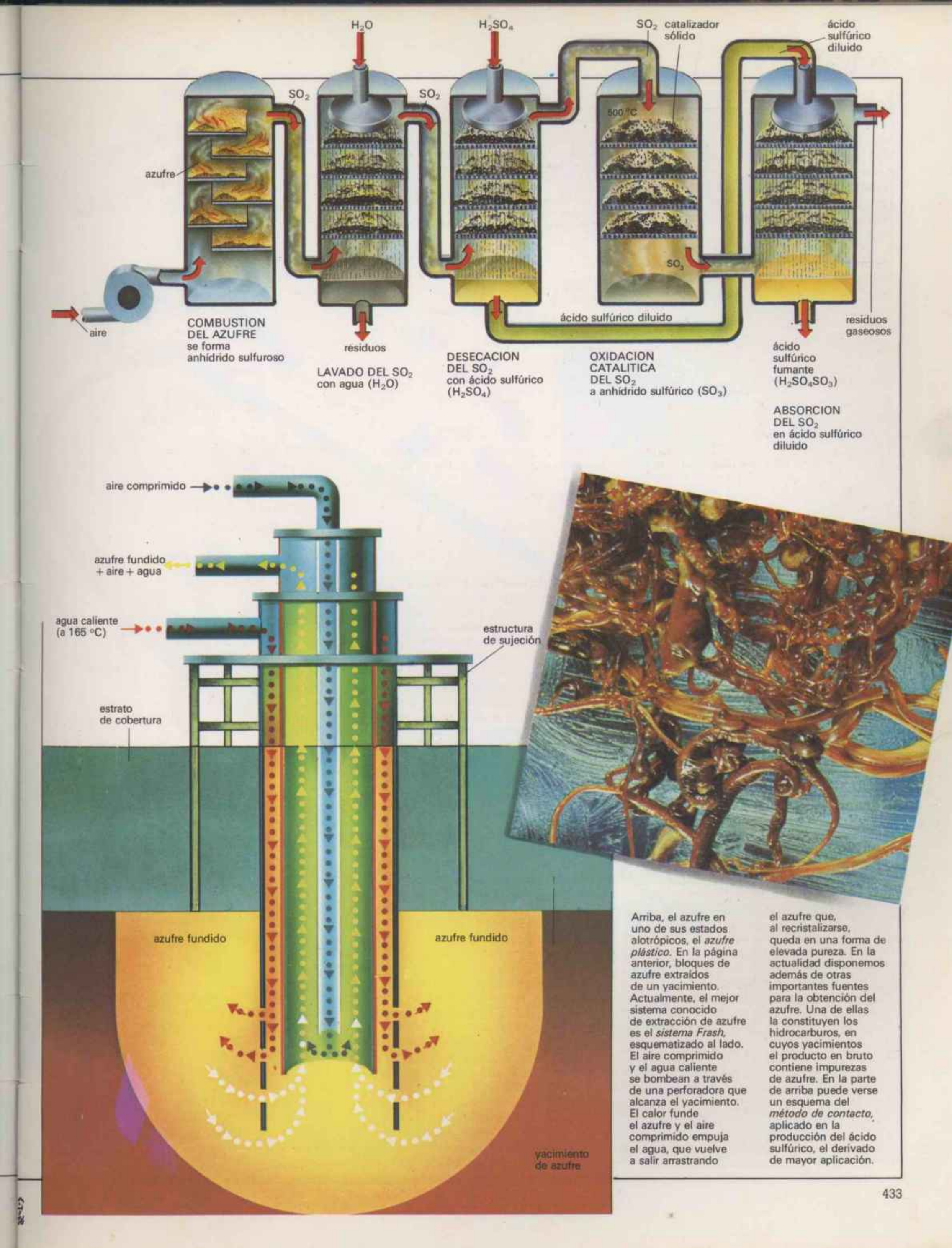
Acido sulfúrico Es uno de los principales compuestos inorgánicos y, sin duda, el más importante de los ácidos inorgánicos. Es un líquido incoloro, bastante denso (su peso específico es 1,85), que humea en contacto con el aire emitiendo anhídrido sulfúrico. Es un ácido fuerte (es decir, que se disocia completamente en solución acuosa) que ejerce una poderosa acción deshidratante debido a su gran avidez por el agua. Por esta razón, carboniza muchas sustancias orgánicas (azúcares, algodón o papel).

El ácido sulfúrico se obtiene a partir de azufre o de la pirita, mineral compuesto por sulfuro de hierro. Mediante combustión del azufre o mediante tostado de las piritas, se forma anhídrido sulfuroso que, por oxidación en unas torres de catálisis adecuadas (en el llamado *método de contacto*), se transforma en anhídrido sulfúrico. Este, al unirse con el agua, da lugar al ácido sulfúrico.

Gran parte del consumo mundial de ácido sulfúrico está relacionada con la preparación de fertilizantes (superfosfatos, sobre todo). También se utilizan cantidades importantes en la obtención de otros derivados inorgánicos (así, por ejemplo, dióxido de titanio o ácido fluorhídrico) y en la eliminación de los depósitos de óxido de la superficie de los hierros y aceros antes del laminado y barnizado de los mismos.

En Química se utiliza el ácido sulfúrico en la producción de explosivos, colorantes, detergentes, productos farmacéuticos, fibras textiles sintéticas (como el rayón) y en el refinado del petróleo.

Véase **Química; Química industrial; Química orgánica**



Arriba, el azufre en uno de sus estados alotrópicos, el *azufre plástico*. En la página anterior, bloques de azufre extraídos de un yacimiento. Actualmente, el mejor sistema conocido de extracción de azufre es el *sistema Frash*, esquematizado al lado. El aire comprimido y el agua caliente se bombean a través de una perforadora que alcanza el yacimiento. El calor funde el azufre y el aire comprimido empuja el agua, que vuelve a salir arrastrando el azufre que, al recristalizarse, queda en una forma de elevada pureza. En la actualidad disponemos además de otras importantes fuentes para la obtención del azufre. Una de ellas la constituyen los hidrocarburos, en cuyos yacimientos el producto en bruto contiene impurezas de azufre. En la parte de arriba puede verse un esquema del *método de contacto*, aplicado en la producción del ácido sulfúrico, el derivado de mayor aplicación.

Bacterias

Las bacterias son las formas de vida más antiguas sobre nuestro planeta; su origen se remonta al período precámbrico, a los albores mismos de la vida. Se trata de organismos unicelulares, cuyo tamaño oscila entre una y tres micras (una micra es la milésima parte del milímetro), por lo que resultan invisibles para el ojo desnudo, siendo necesarios microscopios para observarlas.

Las bacterias carecen de membrana nuclear que delimite en su citoplasma un verdadero núcleo, a diferencia de las células de algas, hongos, plantas y animales, que están dotadas de núcleo.

Las bacterias presentan en su superficie una fina membrana plasmática flexible, por fuera de la cual se muestra una pared celular, rígida y gruesa, que da forma al organismo. La pared celular asume diversas formas: esférica en los llamados *cocos*, de bastoncillo en los *bacilos*, de bastón curvado y algo más grueso por un extremo que por el otro en los *vibrios* y una forma espiralada en los *espirilos*. En algunos casos la pared celular está rodeada por una cápsula mucosa de contornos mal definidos. Muchas bacterias están dotadas de unos filamentos locomotores, que se llaman *flagelos* cuando son largos y escasos, y *cilios* cuando son más cortos y numerosos.

La reproducción de las bacterias Como los demás seres vivos, las bacterias se reproducen para formar otras de su misma especie. La reproducción de una bacteria consta de dos etapas básicas, una inicial en la que la célula sintetiza los elementos fundamentales que debe repartir entre sus células hijas, y una segunda, más conspicua, de separación y reparto de lo previamente sintetizado. El reparto o división tiene lugar normalmente por una simple escisión: la célula se alarga, la membrana se invagina en la parte intermedia y, a continuación, se forma un tabique entre las dos células hijas, que normalmente acabarán por separarse. De este modo, cada bacteria origina al reproducirse dos bacterias, cuya división dará cuatro bacterias, que a su vez darán ocho y así sucesivamente, aumentando el número de individuos según una progresión geométrica para dar una colonia de bacterias genéticamente idénticas. Obviamente, el proceso de división no continúa indefinidamente; antes o después, dependiendo de las condiciones ambientales, el número de bacterias de la colonia se estabiliza, cesando la reproducción o atenuándose hasta el punto de que se produzcan tantas bacterias nuevas como mueran en ese lapso de tiempo.

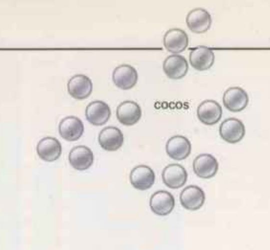
Bacterias útiles Las bacterias juegan papeles esenciales en los ciclos de materia orgánica de nuestro planeta. El nitrógeno, un gas presente en la atmósfera e imprescindible para todas las formas de vida, no puede ser asimilado como tal por las plantas ni por los animales; afortunadamente, ciertas bacterias pueden fijar el nitrógeno bajo forma de amonio, que ya es asimilable por las plantas; los animales deben satisfacer su necesidad de nitrógeno tomándolo en la forma de moléculas complejas de otros animales o de las plantas; así, pues, las bacterias constituyen el eslabón inicial de la cadena biológica de asimilación del nitrógeno. Otras bacterias producen fosfatos o sulfatos o ayudan a sintetizar el carbonato cálcico de los exoesqueletos de animales marinos, como los corales.

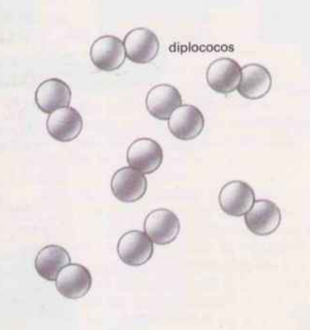
Muchas bacterias entran en simbiosis con organismos superiores, ayudándoles a realizar ciertas tareas bioquímicas que no serían factibles sin el concurso de la bacteria. Así, las vacas no podrían asimilar la celulosa de la hierba y el forraje sin las transformaciones previas a que someten a la celulosa ciertas bacterias que viven en su aparato digestivo.

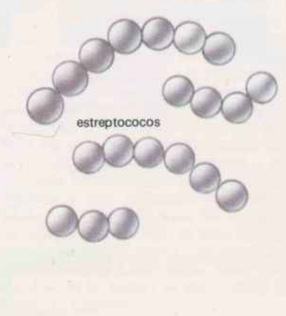
Nuestra especie se ha aprovechado desde antiguo de esa capacidad natural de muchas bacterias de modificar químicamente su entorno. Por ejemplo, se emplean bacterias para producir queso, yogur y otros derivados de la leche y en otras muchas fermentaciones o procesos de conservación de alimentos, como aceitunas, *chucrut*, etcétera.

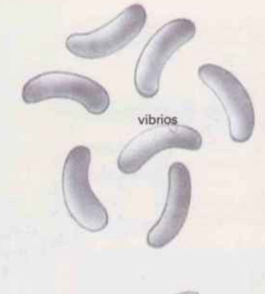
Recientemente, los científicos han descubierto que es posible modificar la estructura genética de algunas bacterias para obligarlas a realizar operaciones bioquímicas que, de forma natural, no harían. Así, mediante manipulaciones genéticas, ha sido posible "enseñar" a ciertas bacterias a producir insulina, hormona del crecimiento y otras proteínas de gran utili-

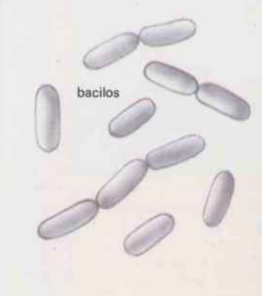
Las bacterias son organismos unicelulares y procariontes, es decir, carentes de núcleo verdadero. En estas páginas, abajo y a la derecha, bacterias redondeadas (cocos), otras en cadena de dos cocos (diplococos), en cadenas de más de dos cocos (estreptococos), en forma de coma (vibrios), onduladas (espirilos) y clostridios. Entre las formas provistas de cilios, algunas están completamente revestidas de ellos (pluriflagelados) y otras sólo tienen uno (monoflagelados).

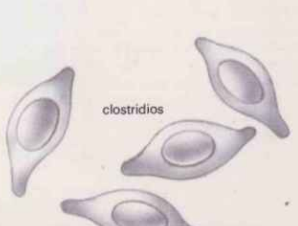












espirilos

bacterias pluriflageladas

bacterias monoflageladas

ADN

pared celular

cápsula

plasmalema

mesosoma

flagelos

Dpto. Farmacología, Univ. de Milán.

Aunque antiguamente se considerase a las bacterias como pertenecientes al reino vegetal, y de ahí su denominación, ya obsoleta, de *Bacteriophyta*, actualmente se sabe que las bacterias constituyen por sí mismas un reino, totalmente distinto del reino Animal y del Vegetal. De hecho, animales y vegetales están evolutivamente más cerca entre sí, por compartir células dotadas de núcleo verdadero, que de las bacterias, cuyas células carecen de membrana nuclear y de núcleo verdadero. Los genes de las bacterias van en una gran molécula circular de ADN. La masa protoplásmica está delimitada por una fina membrana citoplásmica, compuesta de lípidos y proteínas, que presenta numerosas invaginaciones hacia el interior de la célula, cuya superficie es rica en enzimas. Por fuera de la membrana citoplásmica, las bacterias presentan una pared celular rígida, inelástica y carente de celulosa. En la foto de arriba, invaginaciones internas de la membrana citoplásmica y mesosomas de una bacteria saprófita vista al microscopio electrónico. Abajo, cultivo de *Escherichia coli*.

dad. Quizás en el futuro podamos disponer de bacterias que fabriquen petróleo o que limpien el ambiente de plásticos y otros contaminantes, hoy en día no biodegradables.

Bacterias patógenas No todas las bacterias son útiles al hombre; algunas provocan enfermedades: las bacterias patógenas. Las bacterias llevan a cabo su acción patógena de diversos modos; algunas afectan directamente ciertos órganos y obstaculizan su función normal; otras, proliferan excesivamente y llegan a sustituir a las células del tejido en que se encuentran; finalmente, una tercera categoría de bacterias produce unas sustancias venenosas o *toxinas*.

Se conocen dos tipos principales de toxinas: exo y endotoxinas. Las *exotoxinas* son segregadas al medio exterior por la bacteria patógena; las *endotoxinas* van en el interior de la célula bacteriana, siendo liberadas cuando la bacteria muere y se destruye. La pulmonía y ciertas dolencias de los conductos urinarios e intestinales se producen por bacterias portadoras de endotoxinas; el botulismo, el tétanos y la difteria, por bacterias productoras de exotoxinas. Por ejemplo, en los alimentos enlatados sometidos a un defectuoso proceso de conservación crece el *Clostridium botulinum*, bacteria que provoca la gravísima enfermedad del botulismo. La bacteria segrega una exotoxina que no es susceptible de ser destruida por los enzimas

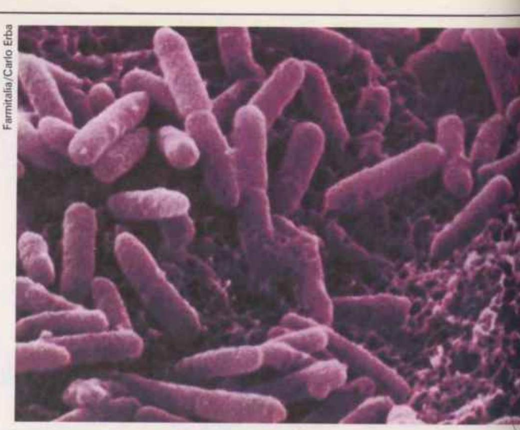


CNRI, París

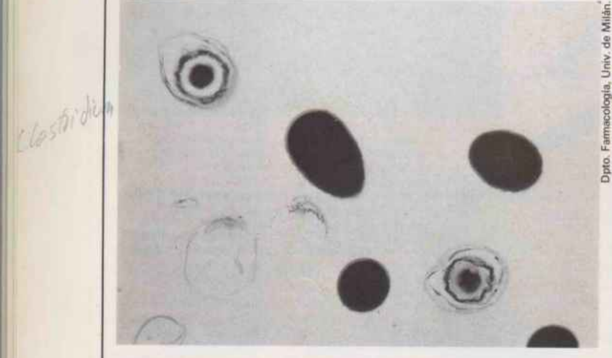
de nuestro sistema gastrointestinal, por lo que alcanza el torrente sanguíneo y acaba llegando a los centros nerviosos, cuyo normal funcionamiento altera. Entre dieciocho y treinta y seis horas después de haber ingerido incluso sólo una pequeña cantidad de alimento contaminado con *Clostridium*, la exotoxina bloquea la transmisión nerviosa en las placas motrices neuromusculares y provoca así una parálisis muscular. El sujeto experimentará primero dificultades para tragar y hablar y trastornos visuales y, si no recibe de inmediato tratamiento, se le llegarán a paralizar los músculos de la respiración, lo que le causará la muerte por asfixia.

Algunas bacterias patógenas tan sólo pueden atacar determinados órganos o tejidos; el meningococo, por ejemplo, provoca la meningitis invadiendo específicamente las membranas, o meninges, que rodean el cerebro. Otras bacterias patóge-

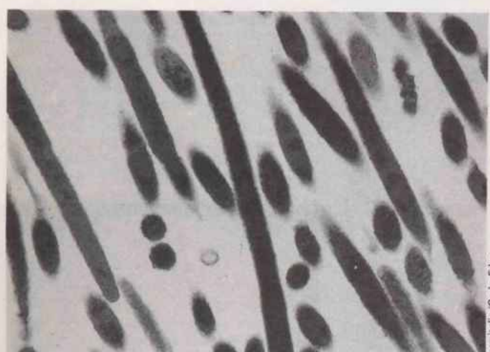
Distintos grupos de bacterias, a causa de ciertas características estructurales típicas del grupo, reaccionan de forma diversa a la coloración de Gram. A la derecha, un *Proteus*, bacteria Gram-negativa (es decir, que no se colorea con la reacción de Gram) que suele encontrarse en el tubo intestinal, vista al microscopio electrónico de barrido. En determinadas condiciones, estas bacterias pueden provocar enfermedades de las vías urinarias. Más a la derecha, el microscopio electrónico nos ofrece la imagen de algunos linfocitos atacados por bacterias.



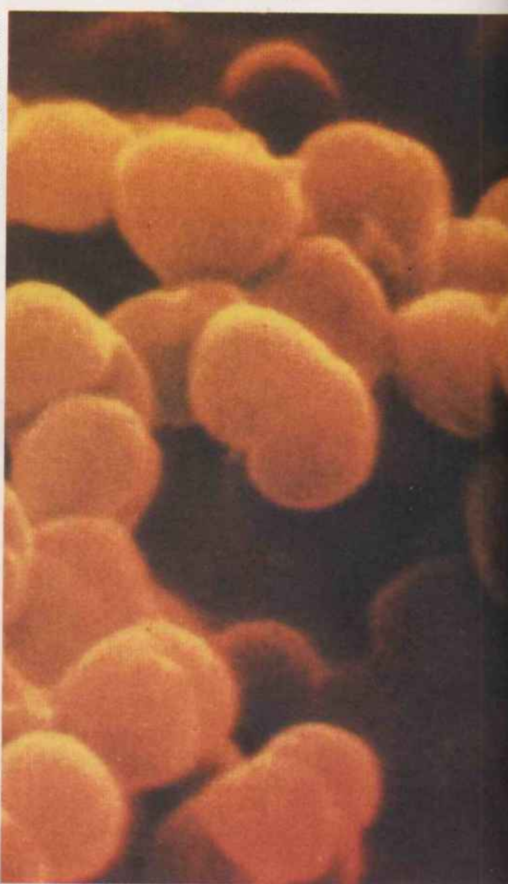
Farmitalia/Carlo Erba



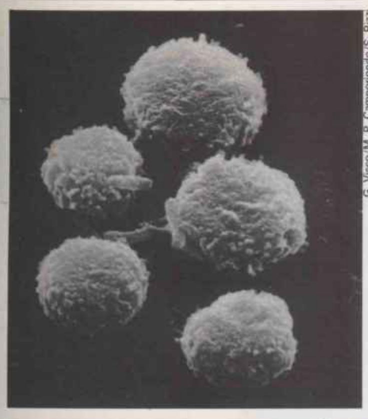
Dpto. Farmacología, Univ. de Milán.



Farmitalia/Carlo Erba



En la foto superior, *Clostridium sporigenes*, bacteria anaerobia presente en la leche y que descompone las proteínas; debajo, bacterias fusiformes. A la derecha, pneumococos. Se trata de bacterias Gram-positivas, del grupo de los cocos y que pueden provocar enfermedades. Los pneumococos, que se presentan asociados de dos en dos, pueden presentar una cápsula que confiere a la estirpe patogenicidad por hacerla resistente a la fagocitosis; las estirpes sin cápsula no son patógenas; la presencia o ausencia de cápsula es hereditaria.



G. Visco/M. P. Camporiondo/S. Rizzi

nas son más versátiles; el estafilococo, por ejemplo, puede infectar tanto la piel como la sangre, produciendo septicemia, o los huesos, provocando osteomielitis.

Las enfermedades provocadas por bacterias son contagiosas, es decir, se pueden propagar de unas personas a otras. Las bacterias patógenas del aparato respiratorio tienen un potencial de contagio particularmente alto; es suficiente un golpe de tos o un estornudo para que se liberen al aire millones de ellas y queden flotando hasta ser respiradas por otra persona o depositarse sobre alguna superficie cuyo contacto provocará el contagio.

Control de las bacterias patógenas
Los seres vivos han desarrollado mecanismos para defenderse de las bacterias patógenas. Así, muchos organismos, particularmente bacterias y hongos, producen *antibióticos*, sustancias que dañan el crecimiento de otros organismos, entre ellos el de bacterias patógenas. Por ejemplo, la estreptomicina, un antibiótico muy fuerte, es una molécula producida por *Streptomyces griseus*. Además, la presencia en el interior de un organismo de cuerpos extraños, como bacterias patógenas, provoca una serie de reacciones defensivas, desde la producción de anticuerpos a la de sustancias que causan inflamación y fiebre. En algunos casos, una reacción de defensa defectuosa o exagerada puede, a su vez, provocar una enfermedad, tal es el caso de muchas alergias.

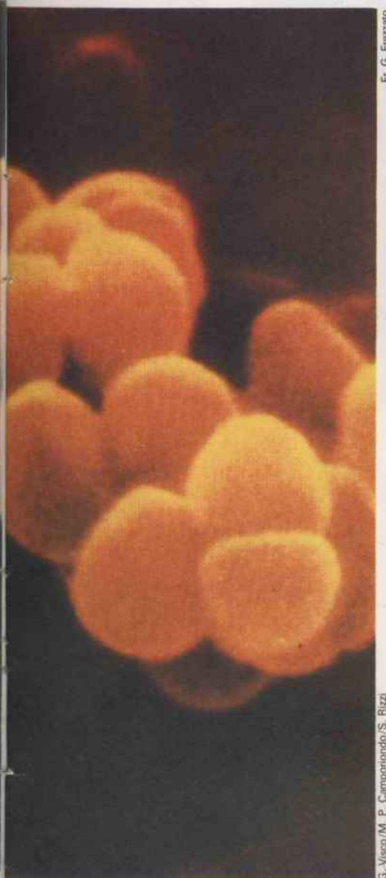
Se han desarrollado también sistemas artificiales para controlar las bacterias patógenas. Se han inventado, por ejemplo, métodos químicos de sintetizar antibióticos, algunos de ellos similares a los naturales y otros completamente originales. Puede también controlarse el crecimiento bacteriano mediante antisépticos y desinfectantes, pero estas sustancias deben emplearse con suma prudencia, y en todo caso sin ser ingeridas, ya que también son perjudiciales para el organismo humano.

Pero el método artificial por excelencia de control de las poblaciones bacterianas es el calor. La mayoría de las bacterias se reproducen a temperaturas que van desde los 8 °C hasta un máximo de 71 °C. En condiciones más extremas, las bacterias mueren o desarrollan formas de resistencia, como esporas, quedando inactivas y volviendo a recuperar la actividad cuando las condiciones vuelven a ser favorables; pero, en general, las temperaturas altas son letales para las bacterias. Así, basta hervir los alimentos que van a ser conservados en lata para evitar el botulismo; hervir la leche durante 30 minutos a una temperatura de 63 °C o durante 15 segundos a 72 °C basta para destruir las bacterias patógenas que pudiera contener; este último método se denomina *pasteurización* porque fue el insigne microbiólogo francés Louis Pasteur el primero en utilizarlo. A veces, para eliminar las bacterias patógenas del material de laboratorio y, en casos de emergencia, del material quirúrgico, se emplea la llama, pero es difícil asegurarse de que todos los pequeños recovecos del instrumental han sido convenientemente flameados.



Fr. G. Frezzato

Las bacterias se pueden cultivar en medios naturales o sintéticos adaptados a la reproducción de la especie de que se trate. Las modalidades de cultivo variarán de acuerdo con el objetivo buscado, que puede ser la investigación científica, la elaboración de un diagnóstico médico, la preparación de sueros, de antibióticos o llevar a cabo, a nivel industrial, algún tipo de fermentación. A la izquierda, un cultivo puro de *Mycobacterium tuberculosi*, el bacilo de la tuberculosis.



G. Visco/M. P. Camporiondo/S. Rizzi

En los hospitales y en las industrias que fabrican alimentos, para tener la completa seguridad de haber matado todas las bacterias, es decir, de haber esterilizado el material de que se trate, se emplean autoclaves. En las autoclaves, cuyo funcionamiento es similar al de las ollas a presión, los objetos se someten durante 10 ó 15 minutos a una fuerte presión de aire húmedo a alta temperatura, de unos 121 °C generalmente. Algunos alimentos, que por sus características no se pueden someter al vapor, se esterilizan sometiéndolos durante unas dos horas a la acción de aire seco y caliente, a una temperatura de unos 160 °C, en el interior de hornos; como se ve, en este caso se requiere más tiempo y una temperatura más alta que en el caso del aire húmedo, porque en aire seco las esporas bacterianas no germinan y resisten mejor el calor.

Véase **Bioingeniería; Célula; Fermentación; Nitrógeno; Virus**

Balanza

En un dibujo egipcio de la V dinastía, que se remonta por lo tanto a casi 2.500 años antes de nuestra Era, hay representadas de perfil dos figuras arrodilladas, una de las cuales sostiene en una mano una balanza con algunos objetos y en la otra una pesa adicional. La otra figura está tomando nota en una tabla, registrando probablemente el peso de los objetos colocados en la balanza.

La balanza, aunque rudimentaria, no resulta muy diferente de las que pueden verse hoy en día en algún mercado de pueblo, y es la primitiva y lejana antepasada de la actual balanza analítica de laboratorio.

Lo que todas las balanzas tienen en común es una columna central en la que hay un yugo horizontal sujeto en el centro con un perno, y con un plato de pesada suspendido en cada extremo del yugo. De todas formas, el objetivo común de toda balanza es comparar un peso conocido, colocado en uno de los platillos, con otro que determinar, situado en el otro platillo. El peso de comparación se varía hasta que se equilibra con el otro, indicando así lo que este último pesa. El nombre del instrumento viene del latín *lanz*, que era el nombre del plato sobre el que se disponían pesos y cuerpos; el instrumento con dos platos se llamaba, por lo tanto, *bi-lanz*.

La definición más sencilla de peso es: *la fuerza de gravedad que opera sobre un objeto*; no se debe confundir con su masa, aunque el peso de un objeto sea directamente proporcional a su masa. La *masa*, en su definición más sencilla, es una medida de la cantidad de materia presente en un cuerpo, prescindiendo de su volumen o de cualquier fuerza (como, por ejemplo, la gravedad) que pueda operar sobre él. Un ejemplo: los astronautas en órbita extragravitacional *no tienen peso*, aunque sus masas no varían en relación a las que tendrían sobre la Tierra.

Las modernas balanzas de precisión, del tipo de las que se utilizan en los laboratorios científicos, son el resultado de muchos siglos de trabajo y búsqueda. Por exigencias de plateros y cambistas, que cada día trabajaban con metales preciosos y gemas, se desarrollaron rápidamente balanzas bastantes sensibles. Y después de la publicación, en 1687, de los *Principia* de Isaac Newton, obra fundamental que exponía las bases de la Física moderna, los científicos idearon nuevos instrumentos cada vez más precisos, para poder investigar de forma más rigurosa.

Uno de los instrumentos que se puede considerar antecesor directo de la balanza de precisión fue descrito ya en la famosa *Encyclopédie* francesa, del siglo XVIII. En ese instrumento, los hilos a los que estaban sujetos los platillos habían sido alargados para obtener un *centro de gravedad* más bajo, lo que permitía una mejor estabilidad y, en consecuencia, una mayor precisión. Algunas piezas de esa balanza eran de latón, para eliminar la influencia de la humedad, y por primera vez se colocó un *índice* en el centro del yugo horizontal para poder observar mejor cuándo los platillos estaban en perfecto equilibrio. Se introdujo también un dispositivo para inmovilizar los platillos mientras se cargaban, así como la idea de proteger todo el mecanismo con una campana de cristal.

Probablemente, la primera balanza de precisión fue la construida en 1770 por el relojero inglés John Harrison, para Henry Cavendish, un pionero de la Química y la Física modernas. Para aumentar la rigidez del yugo, Harrison ideó una estructura triangular formada por barras a modo de hilos, de manera que los pequeños cerrojos colocados a cada extremo pudiesen ser movidos para regular el centro de gravedad del sistema. Harrison fue también el primer constructor de balanzas que colocó el yugo con un perno sobre una hoja triangular, es decir, una sección de barra triangular que se apoyaba sobre un ángulo de la contrasección, también triangular; desde entonces, tales hojas han entrado a formar parte del equipo estándar. El instrumento de Harrison poseía también un mecanismo para levantar el yugo de la delicada hoja cuando no se utilizaba la balanza.

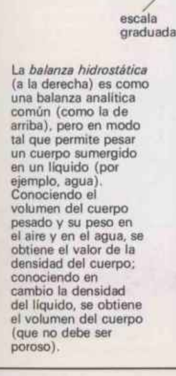
Las balanzas de precisión del tipo de las usadas comúnmente en los laboratorios escolares de Física y Química tienen un yugo ligero y rígido que se apoya en su punto central sobre una versión moderna de la hoja o cuchilla de Harrison, de forma que cuando se acciona el instrumento, se hace bajar la cuchilla, que se apoya sobre un plano de ágata (una variedad de cuarzo, mineral duro y denso que no se resiente de los cambios normales de temperatura y humedad). Los platillos se apoyan sobre estribos colgados de dos cuchillas boca abajo, una a cada lado del yugo. Normalmente, el platillo de la izquierda se

Normalmente se piensa que la pesada es una operación para la determinación del peso de un cuerpo, es decir, de su fuerza. En realidad, la balanza corriente sirve para comparar dos masas. El instrumento que efectúa pesadas propiamente dichas es el *dinamómetro*, que se ve a la izquierda: cerrado, muestra la escala; abierto, muestra el muelle —en este caso, de acero— que se alarga cuando se carga con el peso que se quiere medir. Ni la precisión ni la sensibilidad de este instrumento son elevadas, al menos en sus versiones rudimentarias. Pero existen versiones tan sofisticadas que pueden utilizarse como instrumentos para la medida de la fuerza de atracción de la Tierra. En efecto, puesto que este instrumento mide la fuerza con que un cuerpo es atraído hacia el centro de la Tierra, es necesariamente sensible a la variación de la aceleración de la gravedad. Por lo tanto, es capaz de poner de manifiesto la diferencia de peso que el mismo cuerpo tiene, por ejemplo, en los polos terrestres y en el ecuador (donde el peso es menor a causa de la mayor fuerza centrífuga terrestre). En las versiones más sensibles, el dinamómetro está constituido con un ligerísimo muelle de cuarzo y puede medir pequeñas diferencias locales de la gravedad terrestre.

A la derecha, *balanza analítica*. Esta balanza posee varios mecanismos, y se basa en un principio que le permite efectuar una operación de pesada (en realidad, de comparación de masas) muy precisa. Hay que notar, abajo, los tornillos niveladores para la colocación vertical de la columna de sostén. Hay además una palanca con la que se puede descargar el plato a la vez que se efectúan las operaciones de carga del mismo con el objeto que se desea pesar. El yugo de la balanza se carga luego con los pesos en la misma parte del plato, y con un contrapeso igual a la suma de los pesos en la parte opuesta. Para efectuar la pesada se carga el platillo, que así estará sobrecargado; luego se descarga poco a poco hasta que se alcanza el equilibrio. De esta manera se está seguro de que los pesos retirados equivalen exactamente al del cuerpo que se está examinando. El asta graduada sobre el yugo lleva un ligero peso, que está "a caballo" sobre el asta, y que por ello se llama *caballero*; moviéndolo, se obtiene un equilibrio perfecto. Puesto que en equilibrio el yugo oscilaría durante mucho tiempo, se le acopla un amortiguador neumático (a la derecha). Un índice permite verificar el equilibrio.

mando para el desplazamiento de los pesos
cuchillo en zafiro
yugo
peso móvil para regular la sensibilidad
escala graduada
índice
mando para el bloqueo del contrapeso
amortiguador neumático
contrapeso
pesos
estribo
mando para el bloqueo del plato
platillo
sujetaplatillo




La *balanza hidrostática* (a la derecha) es como una balanza analítica común (como la de arriba), pero en modo tal que permite pesar un cuerpo sumergido en un líquido (por ejemplo, agua). Conociendo el volumen del cuerpo pesado y su peso en el aire y en el agua, se obtiene el valor de la densidad del cuerpo; conociendo en cambio la densidad del líquido, se obtiene el volumen del cuerpo (que no debe ser poroso).

utiliza para el material que se desea pesar, y el de la derecha, para los pesos-muestra, extremadamente precisos. A todo lo largo de la columna de sostén se prolonga un índice cuya punta se mueve, con la oscilación del yugo, sobre una escala situada cerca de la base de la columna. También la plataforma sobre la que está la columna tiene dos soportes, uno debajo de cada platillo. El ángulo superior del yugo está estudiado para que funcione mediante un pequeño *estribo* llamado "caballero", es decir, un trocito de hilo de metal inoxidable en forma de U invertida, controlado a distancia mediante una barra de acero desde el exterior de la campana de cristal que protege la balanza del ambiente atmosférico que la circunda. Una balanza de este tipo es capaz de soportar pesos de hasta 200 gramos, y su sensibilidad es tal que registra una precisión del orden de la décima de miligramo.

Una *microbalanza*, instrumento mucho más sensible, tiene una estructura similar a la que acabamos de examinar, pero puede soportar una carga máxima de 0,1 gramos y su precisión es del orden de un microgramo (la millonésima parte de un gramo). Mientras que hasta hace unos años la lectura se hacía en una especie de ventanilla, con desplazamiento mecánico de las cifras, hoy se utiliza cada vez más un *display* con diodos luminosos, de lectura similar a la de los relojes denominados *digitales*.

Otra variedad de balanza de laboratorio que en estos últimos años se está haciendo popular es la *balanza de amortiguador*, que tiene un amortiguador magnético para disminuir la posibilidad de oscilación del yugo cuando el experimentador lo desee (por ejemplo, cuando está cargando los platillos). Una cadena de oro, de malla muy fina, cuelga de un gancho en un lado de la columna y está unida a un índice corredizo que se mueve a lo largo de una escala muy bien calibrada, llamada *escala Vernier*. La cadena y la escala Vernier se utilizan para pesadas no superiores a 0,1 gramos.

Para las balanzas descritas hasta el momento, la dotación de los pesos debe ser por lo menos igual a la carga máxima que se pueda pesar. Para pesar cargas mayores existen balanzas con brazos cuya longitud varía. El objeto que se desea pesar se cuelga del brazo más corto, mientras que los pesos-muestra se mueven a lo largo del brazo más largo. El ejemplo más conocido de este tipo de balanza es la *romana*, familiar a todo el que haya visitado un viejo mercado de fruta y verdura.

Las *balanzas de plataforma*, como las que se utilizan para pesar a las personas y que son comunes en las farmacias, se basan en el principio del péndulo contrabalanceado (un peso colocado sobre un árbol largo que sirve como perno alrededor de un único punto, normalmente del extremo opuesto).

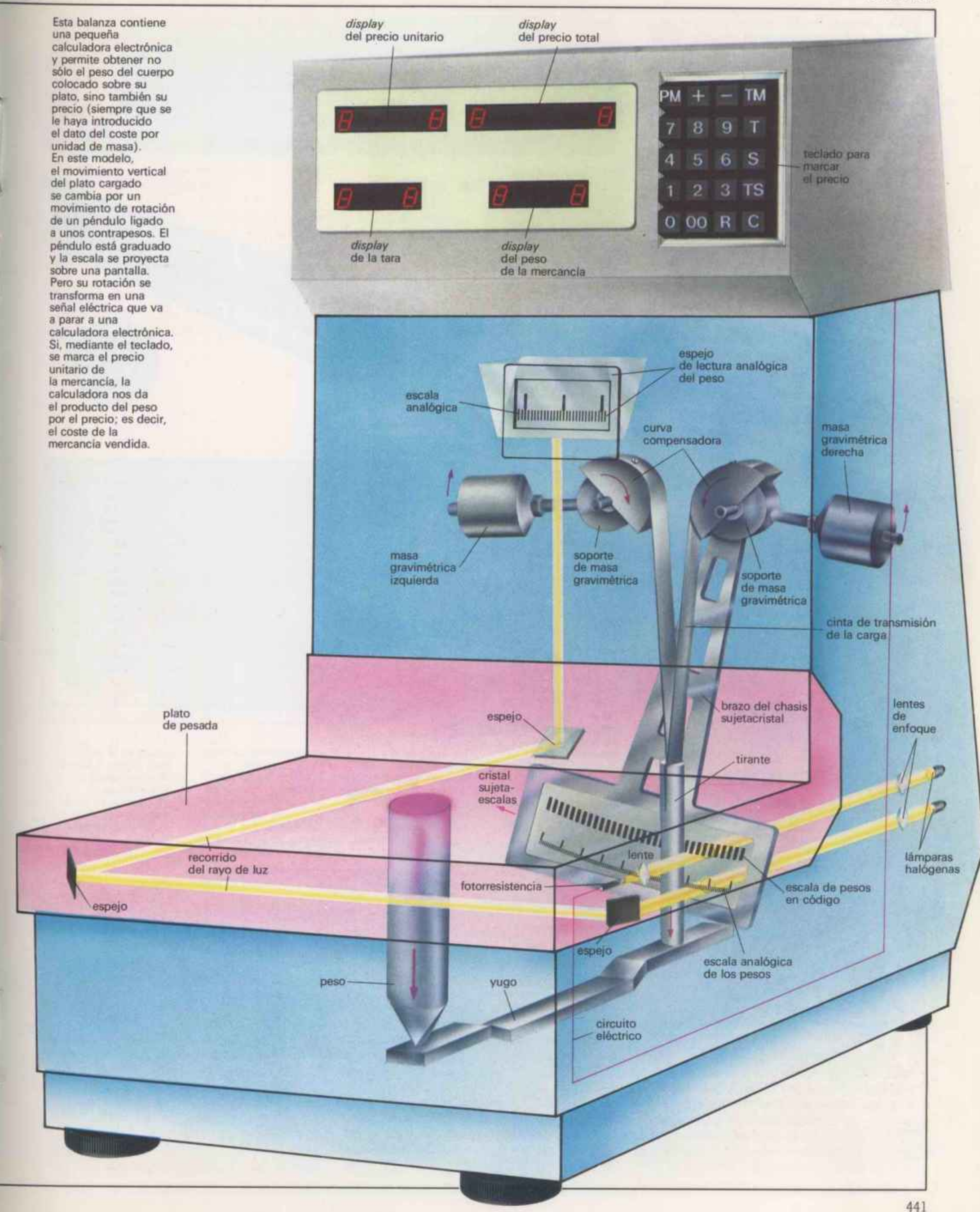
Las *balanzas médicas*, que permiten una pesada precisa, tienen también un yugo horizontal convenientemente calibrado, a lo largo del cual se puede hacer correr un peso adicional.

Las *balanzas de muelle* son aparatos en los que una carga suspendida de un gancho en el extremo del muelle lo hacen alargar. El valor del peso lo indica un índice fijado al muelle, que se mueve a lo largo de una escala fija graduada. En la balanza de muelle, el peso del cuerpo se compara con la fuerza producida sobre el muelle, que se opone a la ocasionada en el cuerpo por la gravedad. Puesto que esta fuerza varía sobre la Tierra con la latitud, y es mínima en el ecuador y máxima en los polos, esta balanza no puede ser precisa, a menos que esté regulada para una determinada latitud y no se mueva de ella. En cambio, las balanzas con dos platillos están exentas de este error, puesto que la fuerza de la gravedad actúa del mismo modo sobre el cuerpo que sobre los pesos; por eso sería más justo decir que la balanza no es un instrumento para pesar, sino más bien para "masar", es decir, para determinar la masa de los cuerpos por comparación o confrontación con la de los pesos-muestra (en realidad, masas-muestra).

Véase **Gravedad y gravitación**

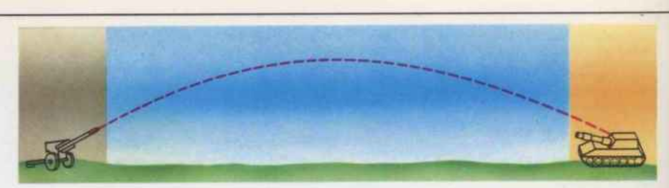
Pesar grandes masas requiere instrumentos especiales. Aquí vemos una báscula para pesar camiones. Cuando basta la precisión del uno por mil en la pesada, se podrían utilizar celdas de carga, es decir, dispositivos electrónicos en estado sólido que producen una tensión (o varían la resistencia) según la cantidad de carga. Pero si se exige una precisión del uno por diez mil (un kilogramo por tonelada de peso), es necesario recurrir al sistema mecánico descrito en el esquema a la izquierda. Ante todo, el peso debe resultar el mismo cualquiera que sea la posición en la que se coloca la carga. En el caso de un vehículo grande, las cuatro ruedas se colocan cerca de los cuatro vértices del rectángulo de apoyo. Pero un vehículo más pequeño podría también colocarse fuera del centro exacto. Entonces debe existir un potente sistema que sea capaz de sostener la plancha de apoyo mientras el vehículo sube, para que su empuje no fuerce los cuchillos de sostén. El principio sobre el que se basa la pesada es el de cargar un asta con el peso del cuerpo y equilibrarlo con un contrapeso móvil (romana) que se hace correr sobre un asta graduada.

Esta balanza contiene una pequeña calculadora electrónica y permite obtener no sólo el peso del cuerpo colocado sobre su plato, sino también su precio (siempre que se le haya introducido el dato del coste por unidad de masa). En este modelo, el movimiento vertical del plato cargado se cambia por un movimiento de rotación de un péndulo ligado a unos contrapesos. El péndulo está graduado y la escala se proyecta sobre una pantalla. Pero su rotación se transforma en una señal eléctrica que va a parar a una calculadora electrónica. Si, mediante el teclado, se marca el precio unitario de la mercancía, la calculadora nos da el producto del peso por el precio; es decir, el coste de la mercancía vendida.



Balística

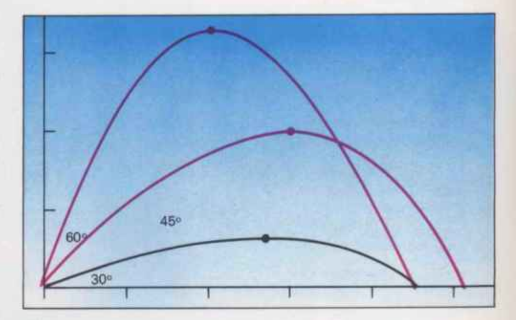
En general, la aplicación práctica de la ciencia balística empieza con las voces de mando "¡Apunten! ¡Fuego!" y, cuando se concluye favorablemente, termina con un "¡Blanco!" de felicitación. Es la ciencia de la propulsión (*balística interior*), del vuelo (*balística exterior*) y del impacto de los proyectiles (*balística de efectos*). La balística se refiere corrientemente a las armas dotadas de cañón, aun cuando comprende la misilística e incluso los objetos arrojados. Para la balística de las armas de fuego, los principales problemas son: alcanzar una velocidad exigible del proyectil en la boca del cañón; establecer la menor presión sobre el cañón necesaria para conseguir esa velocidad; conocer la velocidad del proyectil durante el recorrido de su trayectoria; lograr el alcance y la continuidad de esta trayectoria y el impacto de dicho proyectil sobre el blanco.



La balística se divide en tres partes: la que estudia el comportamiento del proyectil en el interior del arma de lanzamiento (balística interior), la que se ocupa de la trayectoria (balística exterior) y la del impacto (balística de efectos).



Arriba, la sección de un cañón de fusil o pieza de artillería. Para estabilizar el movimiento del proyectil se le hace girar por medio del rayado del ánima que actúa sobre la banda de forzamiento (anillo de cobre colocado en la parte posterior del proyectil). En el pequeño grabado, corte del cañón, con el relieve del rayado un poco exagerado. A la izquierda, desviación de los proyectiles disparados en la dirección Norte-Sur o Sur-Norte. Los primeros se desvían hacia el Oeste, y los segundos, hacia el Este, a causa de la rotación de la Tierra.



Las leyes de la balística exterior: en el vacío, los proyectiles disparados con la misma velocidad logran el mismo alcance si son lanzados con ángulos complementarios entre sí con respecto al suelo. El alcance máximo se obtiene con un alza de 45 grados. En el aire, todas las trayectorias son de menos alcance y más curvas en la parte final. Abajo, la forma de un proyectil favorecerá su penetración en el aire cuanto más afilada sea su parte posterior (a trazos).



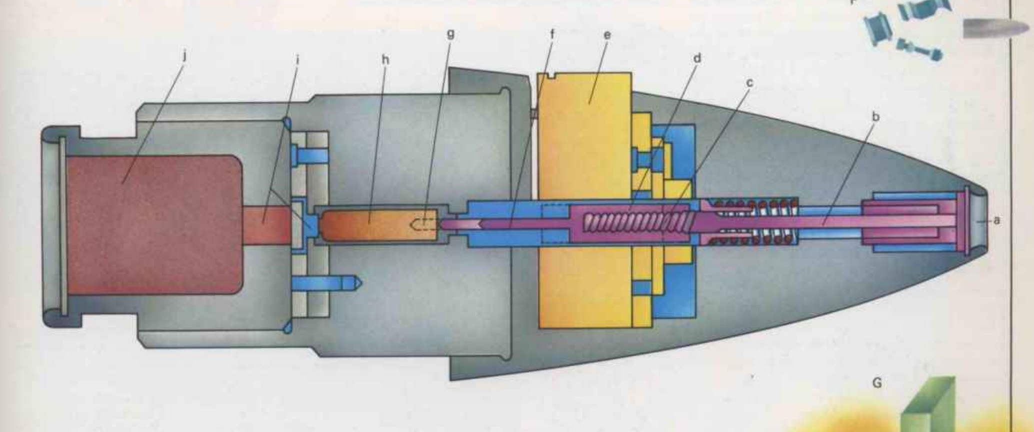
Balística interior Cuando se descubrió que la energía química latente en el explosivo podía ser utilizada en vez de la energía humana o mecánica para impulsar los proyectiles, nació la ciencia de la balística interior. El explosivo arde (deflagra) en la recámara del cañón, generando una presión gaseosa que acelera al proyectil en el interior del cañón (ánima) del arma. Para que esto suceda eficazmente es necesario calcular la fuerza comunicada al proyectil y la correspondiente aceleración. La fuerza aplicada a la base del proyectil depende de las características del explosivo (una sustancia que se enciende y arde rápidamente, liberando gases), de la cantidad quemada y de la distribución de los derivados gaseosos de la combustión en el fondo del ánima. El valor de la aceleración del proyectil debida a esta fuerza se evalúa dividiendo la energía producida en la combustión (la presión de la combustión es constante sobre el proyectil) por la suma de la masa del proyectil y un tercio de la del explosivo. La energía cinética de cualquier proyectil viene a ser un tercio de la energía química potencial de la carga de proyección. A veces el ánima está estriada con rayas en espiral que hacen girar el proyectil duran-

te el recorrido de la trayectoria, mejorando su estabilidad. Esta última viene influida por la reacción del proyectil en el cañón, el rozamiento, la expansión de los gases, el desgaste del cañón (corrosión y erosión debidas al calor y al rozamiento). Si el cañón ha sido apuntado, regulando debidamente el alza y disparando correctamente, habrán sido comunicadas al proyectil la velocidad, rotación y dirección que le llevarán al blanco.

Balística exterior Durante el recorrido de la trayectoria por el proyectil, entran en juego la fase de la balística exterior y otras variables: el movimiento del proyectil (giratorio o no), la resistencia y presión del aire (resistencia y presión aerodinámicas) y las condiciones meteorológicas. Tales variables dependen de la balística en el que los principios de las balísticas interior y exterior actúan simultáneamente durante toda la combustión de la carga de propulsión. Aquélla tiene lugar en una cámara de combustión y los gases son expulsados a través de toberas situadas en la parte posterior, produciendo una contrafuerza o impulso en direcciones opuestas.

Balística de efectos La balística de efectos, el estudio del impacto del proyectil sobre el blanco, es la parte menos conocida. La profundidad de penetración en un blanco con un proyectil no explosivo se mide experimentalmente observando el impacto sobre planchas de determinado espesor. La penetración es proporcional, *grosso modo*, a la velocidad de llegada y a la longitud y densidad del proyec-

Abajo, espoleta de retardo para proyectil de artillería. (a) cabeza; (b) vástago; (c) rosca; (d) tuerca del percutor; (e) virola; (f) percutor; (g) posición avanzada del percutor; (h) cápsula iniciadora; (i) canal de paso de la llama de la cápsula; (j) multiplicador. Con la rotación de la virola se dispone el percutor hacia el interior, y, con el impacto, penetra profundamente en la cápsula iniciadora. En su interior, pues, el encendido se propaga a partir de este punto hacia el multiplicador, en un tiempo tanto menor cuanto más adelante haya podido llegar el percutor.



velocidad del proyectil y de las circunstancias atmosféricas. La resistencia aerodinámica se debe a la presión atmosférica sobre la parte anterior del proyectil, al rozamiento del aire sobre su superficie y a la agitación de aquél tras del mismo. La línea aerodinámica y el pulido de la cubierta tienden a reducir los dos primeros, en tanto que la agitación se aminora dando forma troncocónica a la base del proyectil. A las granadas y cohetes sin movimiento giratorio se les aplican aletas para mejorar su estabilidad en la trayectoria. En los misiles con movimiento giratorio, su estabilidad se obtiene mediante el efecto giroscópico que impide a la presión atmosférica provocar oscilaciones o caídas. La *geobalística* se refiere a los misiles que vuelan lejos y a cota elevada (como, por ejemplo, en trayectoria orbital). La ciencia que estudia los cohetes es un sector de la til. Los proyectiles explosivos destruyen una superficie mayor que los no explosivos porque se trocean antes o después del impacto. Para simular el impacto del proyectil y los otros fenómenos balísticos se utilizan calculadoras digitales. El estudio de la balística comienza con el examen de la tecnología del cañón.

En la era nuclear el aspecto crítico de la balística es su aplicación al sector de los misiles balísticos intercontinentales, capaces de transportar cabezas atómicas a cualquier parte y en cualquier momento. La correspondiente tecnología es muy sofisticada; sin embargo, también en este contexto la ciencia comienza con la balística interior y exterior y termina, de forma siniestra, con la tecnología de la balística de efectos.

Véase **Atmósfera; Física de las partículas; Fusil; Movimiento; Pistola**

En la columna de la derecha, proyectiles perforantes. Arriba, por acción mecánica: (A) proyectil de metal duro; (B) proyectil con ojiva aerodinámica; (C) proyectil con núcleo de metal duro y pesado; (D) proyectil subcalibrado; (E) proyectil subcalibrado provisto de aletas; (F) subcalibrado con pérdida de envoltura al lanzamiento. Abajo: (G) perforación por medio de carga hueca; (H) sección de proyectil de carga hueca; (I) proyección de esquirlas: proyectil deformable que no perfora; (J) proyectil deformable.

Ballena

Hace cientos de años la caza de ballenas no tenía efectos tan devastadores como en la actualidad. Las ballenas se capturaban con pequeñas embarcaciones equipadas sólo con unos intrumentos dentados llamados *arpones*, con la punta envenenada. Como las barcas eran pequeñas y ofrecían poca seguridad, se cazaban preferentemente las especies que nadaban despacio, como la ballena boreal y la ballena gris, que además ofrecían la ventaja de flotar cuando morían. Pero el progreso técnico y la escasez de estas especies en las proximidades de las costas llevaron a la construcción de barcos balleneros más robustos y adaptados a viajes largos.

Captura moderna de la ballena Los modernos barcos balleneros comerciales son, en realidad, un conjunto de grandes naves, casi industrias flotantes, cada una de las cuales está apoyada por doce balleneras más pequeñas. Normalmente estas balleneras miden más de 60 metros de longitud y alcanzan velocidades de 18 nudos (un nudo equivale a una milla marina por hora, siendo la milla 1,8531 kilómetros). La ballenera tiene en la proa un pequeño cañón cargado con un arpón de 55 kilogramos que puede ser disparado con precisión a distancias de hasta 25 metros. Entre el puente y el cañón hay un largo pasillo que permite al encargado del cañón acceder, rápidamente al arma tan pronto la ballena está en posición adecuada.

Cuando el arpón se clava en la carne de la ballena, hace explosión en dicho punto una pequeña carga explosiva. El arpón está atado a un cable de nailon de un kilómetro de longitud, que está arrollado sobre un torno accionado eléctricamente. Maniobrando éste con habilidad, los balleneros consiguen "jugar" con la ballena tal como lo hacen los pescadores aficionados con el salmón o el lucio. Pero a diferencia del salmón y el lucio, las ballenas combaten de verdad, y a menudo arrastran la barca varios kilómetros en una lucha salvaje. Cuando por fin la ballena muere, es remolcada hasta la embarcación que la ha capturado.

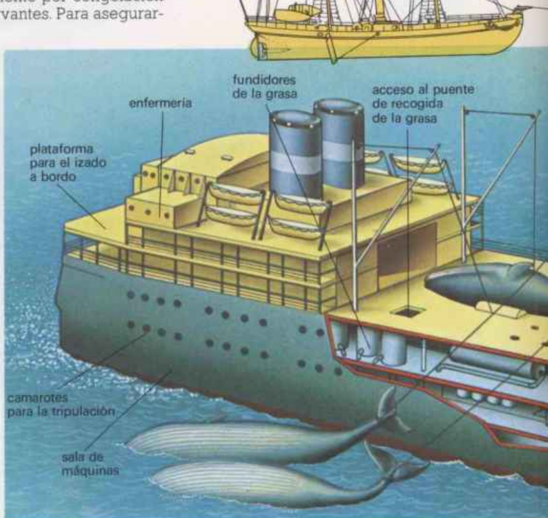
Si el capitán del ballenero decide proseguir la caza, la tripulación insufla aire en la ballena muerta para que quede flotando en la superficie, y clava en ella una bandera como señal para reconocerla. Si, por el contrario, se da por terminada la captura, la tripulación lleva la ballena al barco, donde se iniciará el proceso para el aprovechamiento de sus productos. En este momento, el cuerpo del cetáceo es izado a bordo por una rampa lateral y pasa a ser descuartizado. La gruesa capa de grasa se "parte" en tres trozos, con un procedimiento que recuerda al de pelar un plátano. Después la grasa se trocea y se coloca en recipientes para que cueza a alta presión. Hoy en día se cuece a veces también el esqueleto, de consistencia porosa y untuosa; los restos pueden venderse, una vez triturados, como fertilizante. Como los japoneses son casi los únicos que aprecian la carne de ballena como alimento, ésta se congela generalmente y se enlata a bordo del ballenero-factoría, para ser enviada al país consumidor. Toda la carne no comestible se deposita en los recipientes de cocción junto con la grasa. Los residuos se venden como alimento para los animales.

El tratamiento de las materias primas obtenidas de las ballenas puede hacerse con una gran rapidez si la nave se encuentra bien equipada. Así, la enorme ballena azul —el animal de mayor tamaño que hay en la Tierra—, que mide unos 27 metros de longitud y pesa más de 120 toneladas, puede tratarse totalmente en una hora. El aceite refinado y la carne fresca se alteran rápidamente, por lo que los barcos deben contar con todo lo necesario para realizar la elaboración con gran cuidado y rapidez, generalmente por congelación y adición de conservantes. Para asegurarse de que siguen estando frescos, hay que controlar químicamente y de una manera continua la carne y la grasa y comprobar que se mantienen en buenas condiciones.

Antes de que se introdujera el proceso de elaboración a bordo de las naves, las especies más buscadas por los balleneros eran la ballena boreal, la ballena glacial y la ballena gris. Cuando los balleneros dejaron de estar obligados a arrastrar sus presas hasta la costa y pudieron emplear para la captura embarcaciones más rápidas a motor, comenzaron a dar caza a la ballena azul, al cachalote y a la *balaenoptera*, que eran más veloces. De las especies más apreciadas desde el punto de vista comercial, la ballena azul, la *balaenoptera* y el cachalote son actualmente los más gravemente amenazados.

Hoy en día, la captura de ballenas es algo que no resulta indispensable, pues todos los productos que se obtienen de ellas pueden sustituirse por otros compuestos naturales o artificiales. Por ejemplo, cuando en el año 1859 fue descubierto petróleo en Pensilvania, el aceite de ballena, que era un combustible tradicionalmente usado para la iluminación, dejó de tener utilidad para ello. Al encontrarse sustitutivos para los derivados de la ballena se redujeron considerablemente las flotillas balleneras. A pesar de esta disminución, la eficiencia mortal de las que quedan es tal, que la caza de ballenas tiene

RUTAS MIGRATORIAS POLARES DE LA BALLENA AZUL (—) Y DE LA BALLENA COMUN (---)



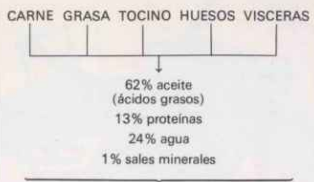
En el siglo pasado, la captura de ballenas se realizaba todavía con métodos muy rudimentarios. La cantidad de ballenas capturadas solía ser siempre relativamente baja. Actualmente, la industria ballenera cuenta con barcos cada vez más grandes, y los animales son localizados con helicópteros y seguidamente arponeados; después se les agrupa alrededor del barco y se les introduce aire para que se mantengan a flote, hasta que les llegue el turno de ser sometidos al proceso de elaboración. En el dibujo se puede ver un ballenero-factoría; arriba, barco pequeño para la localización y captura, y tipo de arpón empleado normalmente.



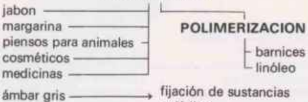
RUTAS MIGRATORIAS Y PRINCIPALES ZONAS DE LA CAPTURA DE LA BALAENOPTERA

Arriba, a la izquierda, rutas de migración de la ballena azul y de la ballena común; a la derecha, zonas de captura. En la tabla, productos que se obtienen de la ballena: en su mayor parte se transforman en productos oleaginosos para uso industrial. Para que estos animales sigan en nuestros mares han de respetarse los convenios internacionales acerca del número de ballenas que se puede capturar cada año.

PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA BALLENA



SOLIDIFICACION



siempre consecuencias desastrosas para estas especies en peligro de extinción.

Reglamentación de la caza Las ballenas son animales muy sociables que se reúnen en manadas para el cuidado de las crías. A causa de la caza intensiva, resulta muy difícil para ellas conseguir que las manadas tengan la fuerza necesaria como para reproducirse al ritmo capaz de mantener la supervivencia de la especie. Para discutir esta alarmante situación, diversos organismos internacionales empezaron en 1972 a ocuparse de elaborar una reglamentación para su caza. Más recientemente, las Naciones Unidas han continuado votando todos los años para que se prohíba inmediatamente la caza de ballenas, y bastantes países han retirado sus flotillas balleneras. Pero a pesar de la condena casi unánime por parte de los medios científicos, muchas naciones que practican la caza de estos cetáceos continúan sacando al mar sus barcos balleneros.

BALAENOPTERA
BALLENA AZUL
BALLENA COMUN
aparejo
sala para la elaboración del pescado
separador de aceite
central de radio
pasarela de navegación y anexos
sala de la tripulación y cocina
fundidor de huesos
refrigerador para la carne
WHALE OIL 26t
GRASA 13 t
CARNE 6 t
HUESOS 7 t
MISTICETO de 26 metros

El 26 de agosto de 1346, un ejército de más de 12.000 soldados, incluido un gran contingente de *ballesteros* franceses, entró en combate con unos 14.000 soldados ingleses, de los cuales 10.000 eran arqueros, en la batalla de Crécy, una de las más importantes de la guerra de los Cien Años. Al final de la jornada, los soldados armados de ballestas habían sufrido una descomunal derrota por obra de los arqueros británicos, y la ballesta —un arco mecánico que disparaba una especie de saeta de madera tostada y cuadrangular llamada *cuadrillo*— quedó bien pronto relegada al papel de arma de caza, después de haber sido durante más de dos siglos la principal arma de la infantería en Europa.

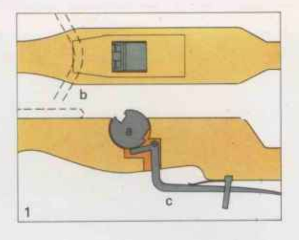
La ballesta se componía de un robusto arco inserto en el extremo de un tablero o *cureña*, que terminaba en un apoyo semejante a la culata de un fusil. Para tensar la fuerte cuerda, esto es, para forzarla hacia atrás venciendo la resistencia opuesta por el pesado arco hasta fijarla a un gancho —"nuez"— situado en la cureña —donde un mecanismo dentado la retenía en tensión mientras el ballestero apuntaba el arma—, se recurría a diversos mecanismos. El cuadrillo se colocaba en un rebaje poco profundo, siendo lanzado por la cuerda del arco al dejarla libre por la acción de un gatillo. La flecha era lanzada así con una fuerza mucho mayor que la del arco, pero este último tenía la ventaja de poder manejarse más rápidamente por robustos arqueros, que lograban cargar, tensar la cuerda, lanzar la flecha y recargar en muy poco tiempo.

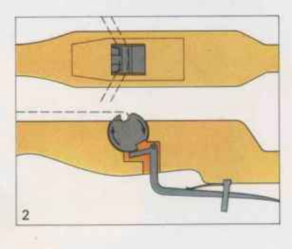
Se prohíbe el uso de la ballesta La ballesta se remonta a tiempos muy antiguos, habiendo sido utilizada por los asirios, babilonios, egipcios, griegos y romanos. En tiempos de la Primera Cruzada (1095-1099), los armeros fabricaban arcos de metal o laminados en madera, y esta "moderna" arma causaba efectos tan graves que fue proscrita por la Iglesia, en el Concilio de Letrán (1189), como "arma terrible". A título de anécdota, hay que decir también que se prohibió su uso contra enemigos cristianos, aunque quedó autorizado en las batallas contra los infieles. Ricardo Corazón de León, el rey inglés que reinó en el último decenio del siglo XII (1189-1199), desobedeció las órdenes de dos Pontífices sucesivos y armó sus tropas con el arma prohibida. Y aunque el triunfo de los arqueros ingleses en la batalla de Crécy había marcado el comienzo del declive de la ballesta como arma individual, nuevos modelos de grandes dimensiones, instalados en las torres de los castillos, desde donde se lanzaban flechas a través de aberturas en forma de cruz practicadas en los muros, continuaron siendo utilizados como "artillería". Esas aberturas, que permitían apuntar tanto en sentido vertical como horizontal, eran a menudo decoradas de forma que adquirían un aspecto engañosamente religioso.

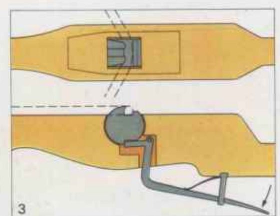


Para cargar la ballesta es necesario mantenerla como indica la figura, reteniendo firmemente el arco con el pie.

Con la mano izquierda se coge la culata, y la derecha queda libre para accionar el mecanismo de carga o *cranequín*.







En las tres figuras se ve la parte central de la ballesta de perfil (abajo) y en planta (arriba). En 1) la *nuez* (a) está preparada para recibir la cuerda (b). La palanca de disparo (c) debe estar bien levantada para no estorbar el giro de la nuez. En 2) la cuerda está en el alojamiento de la nuez y en 3) el giro de esta última permite al mecanismo de retención penetrar en la muesca.

¡Más de 50 kg de fuerza! Muchos museos exponen en sus colecciones medievales algunas ballestas, por lo que no es difícil examinarlas de cerca. La parte del arco suele ser de aproximadamente un metro de longitud, con una anchura de unos seis centímetros y un espesor de alrededor de dos centímetros y medio en el centro, disminuyendo sensiblemente hacia los extremos. Un típico cuadrillo pesa aproximadamente 85 gramos y tiene de 25 a 35 centímetros de longitud, con una punta afilada, que puede ser simple o bien en arpón para que resulte más dañina. Los expertos que han probado a utilizar las ballestas afirman que la fuerza necesaria para tensar la cuerda una veintena de centímetros podía ser superior a los 50 kg, frente a los 25-30 kg para armar la flecha en el arco sencillo.

Dispositivos para armar El dispositivo más simple para tensar la cuerda de la ballesta está constituido por un estribo, muy semejante a los estribos utilizados en equitación, en el cual el ballestero introducía el pie levantado mientras al mismo tiempo enganchaba la cuerda a un robusto gancho fijado a la cintura en correspondencia con la línea media del cuerpo. Extendiendo la pierna y ejerciendo a la vez una tracción hacia atrás a la altura de la cintura, el ballestero conseguía hacer fuerza hasta lograr enganchar la cuerda de la ballesta en el gancho de la cureña. Otro método consistía en utilizar un mecanismo compuesto de cuerda y garrucha, que funcionaba según el común principio de la polea y del aparejo, en el que una de las extremidades de un trozo de cuerda se unía a un pesado anillo en la cintura del ballestero. La otra extremidad se hacía pasar por una polea y se enganchaba a un perno situado en la extremidad del canal dentro del cual se deslizaba el cuadrillo.

Con la introducción de arcos más grandes y más rígidos, hubo de recurrirse a dispositivos con engranajes o roscas para lograr la fuerza suficiente para armarlos. Otro mecanismo usado corrientemente en las ballestas inglesas era "la pata de cabra": una especie de arpón de dos puntas, apoyado en soportes a ambos lados de la cureña, el cual actuaba como una palanca sobre un mango que, empujado hacia abajo, enganchaba la cuerda en el correspondiente perno de retención.

Nuevas perspectivas de la ballesta Aunque en Europa la ballesta desapareció completamente del campo de batalla hacia finales del siglo XVI, todavía en la guerra chino-japonesa de 1894-95 se utilizó un contingente de infantería armado con una versión oriental de la ballesta. Observadores occidentales refieren que aquellas ballestas estaban tan perfeccionadas en relación con las antiguas armas, que un soldado podía disparar 10 flechas en 15 segundos.

Todavía hoy la ballesta no está totalmente en desuso. Al comienzo de los años

sesenta algunos zoólogos ingleses pidieron a un equipo de ingenieros de la universidad de Cambridge que idearan una versión moderna de la ballesta para disparar dardos hipodérmicos, con los que poder anestesiar animales salvajes a los que se deseaba observar. Este nuevo impulso a la tecnología de la ballesta aguzó el ingenio de un grupo de deportistas que, en 1964, fundaron la British Crossbow Society (Sociedad Británica de la Ballesta). Existe una sociedad análoga de ballesteros estadounidenses, que anualmente organiza torneos en colaboración con la American Archery Society.

Véase **Arco, arma**

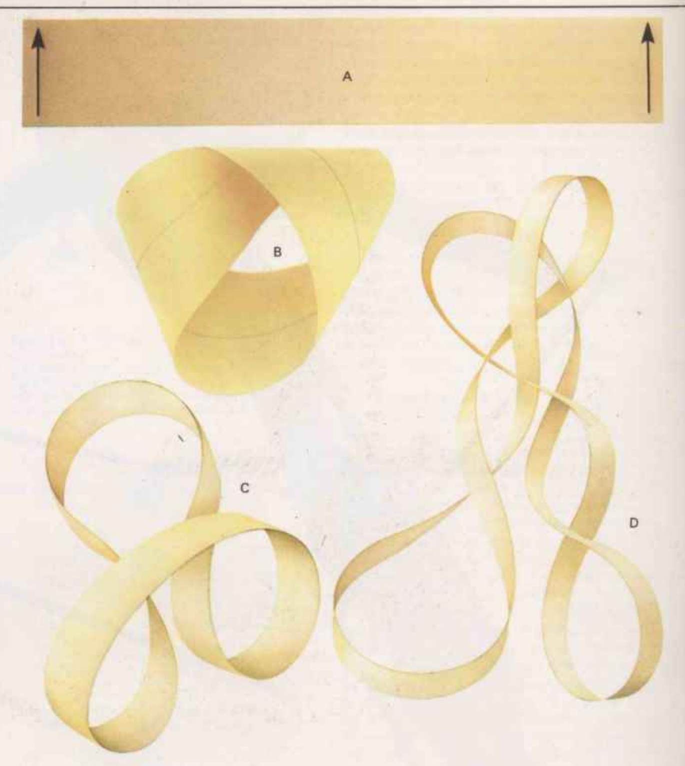


A la derecha, ballesta de madera, y abajo, de metal. Las dos flechas de arriba son una para caza y otra para pesca; la de abajo, a la derecha, para tiro al blanco. Los grandes esfuerzos a que se ven sometidas todas las partes móviles del arma exigen un cuidadoso mantenimiento, sobre todo de engrase. Para la nuez y el cranequín se emplea grasa grafitada; para la cuerda y su plano de deslizamiento, cera.

Banda de Mœbius y botella de Klein

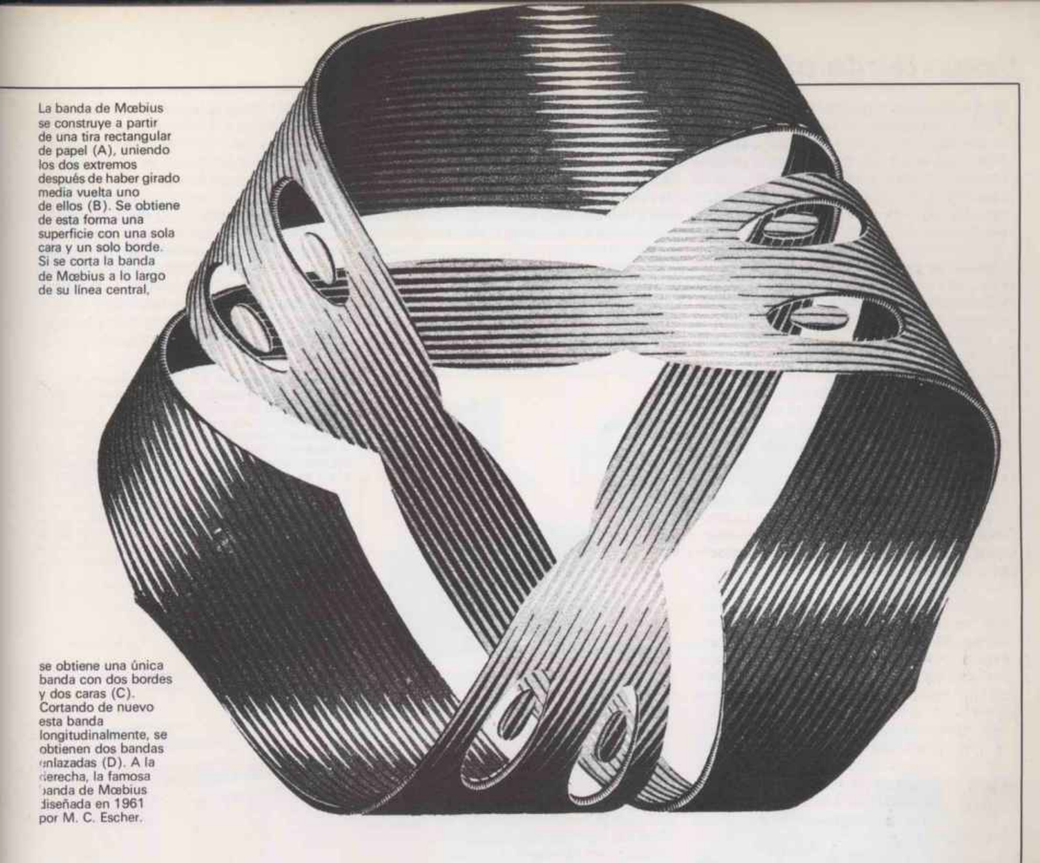
A todos nos parece imposible que pueda existir una superficie de papel con una sola cara y un solo borde, o una botella que no tenga parte interior ni exterior. Sin embargo, los topólogos no sólo han pensado objetos de este tipo, sino que dedican gran parte de su tiempo a estudiarlos.

Banda de Mœbius La banda de Mœbius, cuyo nombre se debe al matemático alemán August Ferdinand Mœbius, que la creó en 1858, es la superficie más simple posible de una sola cara. Esta superficie se puede construir a partir de una tira rectangular de papel, uniendo sus dos extremos después de haber girado uno de ellos 180°. La característica principal de esta figura es el tener una única cara. Una hormiga que caminara por cualquiera de las dos caras —interior o exterior— de un anillo normal de papel (obtenido con la unión de los dos extremos de una tira de papel sin girar ninguno de ellos) volvería al punto de partida después de haber dado una vuelta completa. En cambio, una hormiga que caminase por una banda de Mœbius recorrería la superficie completa del papel, pasando al cabo de una vuelta por debajo del punto de partida, para volver a él después de haber dado otra vuelta. La prueba de que la banda de Mœbius tiene un único borde se consigue pasando un dedo a lo largo del borde, ya que se llegará al punto de partida sólo después de haber tocado todos los puntos del borde. En otras palabras: se puede decir que un recorrido completo de la banda de Mœbius tiene el doble de longitud que el recorrido que se puede realizar sobre un anillo simple formado por un rectángulo de papel de la misma longitud.





La botella de Klein es una superficie de una sola cara que no se puede representar en un espacio de tres dimensiones, por lo que hay que recurrir a un espacio hipotético de cuatro dimensiones. Para obtener una visión concreta de esta figura topológica se puede construir en el espacio de tres dimensiones de la siguiente manera: a partir del material plano (a) se forma una botella de cuello muy largo (b); el cuello se dobla hacia la base de la botella (c), donde se une a la abertura del fondo (d). La verdadera botella de Klein en el espacio de cuatro dimensiones no tiene puntos de cruce entre el cuello y la pared de la botella.



La banda de Mœbius se construye a partir de una tira rectangular de papel (A), uniendo los dos extremos después de haber girado media vuelta uno de ellos (B). Se obtiene de esta forma una superficie con una sola cara y un solo borde. Si se corta la banda de Mœbius a lo largo de su línea central,

se obtiene una única banda con dos bordes y dos caras (C). Cortando de nuevo esta banda longitudinalmente, se obtienen dos bandas enlazadas (D). A la derecha, la famosa banda de Mœbius diseñada en 1961 por M. C. Escher.

Girando varias "medias vueltas" uno de los extremos de una tira rectangular de papel y pegándolo con el otro, se obtiene una figura de las mismas características que la banda de Mœbius cuando el número de medias vueltas es impar. En cambio, si este número es par, la figura obtenida es un anillo con dos caras y dos bordes, equivalente a un anillo obtenido sin torcer ninguno de los extremos.

El resultado que se obtiene cuando se corta una banda de Mœbius a lo largo de su línea central resulta aún más sorprendente: no se obtienen dos cintas, sino una sola, que tiene dos caras y dos bordes. La prueba se tiene al pasar un dedo por su borde y llegar al punto de partida después de una vuelta. Si se corta de nuevo la banda a lo largo del eje, se obtendrán dos trozos, que si bien están separados, quedarán enlazados.

Botella de Klein La botella de Klein es un modelo topológico de una sola cara —algo más complejo que la banda de Mœbius— y que no se puede representar en el espacio de tres dimensiones, pero que puede imaginarse perfectamente recurriendo para su construcción a una cuarta dimensión. Otro matemático alemán, Felix Klein, ideó esta superficie en 1882.

Una botella de Klein puede "obtenerse" uniendo dos bandas de Mœbius, "pegando" los bordes. También puede imaginarse como una superficie cilíndrica (una botella sin base) en la que, en vez de unir ambos extremos para formar una superficie toroidal, se une un extremo con el otro previo *retorcimiento* y *paso a través de la propia superficie*, aprovechando la "cuarta dimensión", análogamente a como se forma la banda de Mœbius —superficie de dos dimensiones— retorciendo y pegando gracias a nuestra tercera dimensión.

Una hormiga que estuviera dentro de una botella normal tendría que pasar por el borde de la boca de la botella para poder pasar del interior al exterior. En cambio, la botella de Klein no tiene bordes, no tiene interior ni exterior y por tanto tiene una sola cara. Para tener una visión más clara de esta figura topológica se puede recurrir a una representación en nuestro espacio de tres dimensiones, en el que una botella con el cuello muy largo se introduce en el interior del cuerpo a través de un agujero de la pared (que sustituye al *imposible* paso de la superficie a través de sí misma). El cuello llega hasta la base de la botella, donde se une a una abertura del fondo. Un modelo como el que se ha descrito se puede construir en la realidad, pero tendría un lejano parecido con la verdadera botella de Klein, ya que en este modelo no cabe utilizar la cuarta dimensión. Una botella de Klein construida con la hipotética cuarta dimensión sería en muchos aspectos parecida a su representación en tres dimensiones, pero no existirían puntos de cruce entre el cuello y la pared de la botella, inevitables en el caso de tres dimensiones.

Una aplicación práctica Las correas de transmisión se desgastan por el roce con las poleas con las que están en contacto, pero se desgastan sólo en la superficie interna, mientras que la externa permanece nueva. Si se gira la correa media vuelta antes de unir los dos extremos, los dos lados de la correa se desgastan lo mismo, con lo consigue que se alargar la vida de la correa. Se trata de una utilización práctica de la banda de Mœbius.

Véase **Curvas y superficies; Geometría diferencial; Geometrías; Polígonos y poliedros; Topología**

Banco de datos

Muchísimas organizaciones científicas y comerciales disponen actualmente sus datos en archivos electrónicos. Los procedimientos de estas organizaciones prevén siempre la escritura de los datos en estos archivos, que son así actualizados de forma continua. Estos datos pueden ser los de procedimientos contables, de estadísticas comerciales, de organización de la producción, de compras, precios, cambio de moneda, personal, transporte, normas aduaneras internacionales, seguridad en el trabajo, etcétera.

Para una organización científica, en cambio, datos preciosos son los contenidos de los informes de investigación producidos en su campo o en campos afines. El conjunto de esos datos valiosos constituye un patrimonio tanto para las empresas como para las organizaciones científicas. Sin embargo, frecuentemente esos datos suelen ser requeridos con muchísimo interés por usuarios ajenos a las propias organizaciones. Por ejemplo, a los investigadores de una universidad pueden interesarles los datos estadísticos recogidos por organizaciones gubernamentales y que se refieren a la nación entera; a los investigadores del sector químico de una compañía pueden interesarles los datos de las patentes de todo el mundo, o bien los inherentes a los escritos aparecidos en las revistas científicas de una nación determinada. A menudo se recogen datos de este tipo en los archivos de las organizaciones especializadas, y en la actualidad muchos de estos archivos están gestionados como bases de datos electrónicas, que son fáciles de consultar, con la sola condición de trasladarse a la sede de la organización que los posee. Lo que sucede es que frecuentemente no resulta fácil o posible ir hasta dicha organización. Solamente si la consulta fuese "continua" se podría examinar el archivo a distancia con un terminal conectado al ordenador situado en la sede del investigador, transmitiéndose los datos a través de una línea telefónica especial.

El primer banco de datos Cuando, en los años sesenta, Estados Unidos decidió la conquista de la Luna, la NASA se encontró con que tenía que gestionar una empresa tecnológica de enormes dimensiones en la que estaban implicadas unas veinte mil compañías, que debían suministrar materiales y componentes para el sistema *Saturno-Apolo*. En la mayor parte de los casos, estas empresas precisaban acceder a toda la literatura científica y técnica de diversos campos de la ciencia y de la ingeniería y debían después, en muchos casos, intercambiar la información entre sí. La propia NASA necesitaba saber qué perspectivas eran posibles en los diversos sectores de investigación. Por esto se decidió crear un sistema capaz de unir y conectar entre sí la mayor parte de las bases de datos científicos y tecnológicos disponibles en universidades, grandes empresas y organizaciones nacionales o mundiales de investigación. Así nació la estructura —que luego ha sido copiada varias veces— para crear un sistema de consulta de información en el que, en las memorias de los ordenadores de un solo centro, se encuentran recogidos los datos requeridos, y muchos usuarios pueden acceder a ellos desde sus redes por medio de líneas telefónicas y terminales para la petición y recepción de respuestas.

Un banco de datos es una organización para la distribución de información que el propio banco tiene en la memoria externa de un gran ordenador y que los clientes del banco pueden consultar a través de terminales que están instalados en sus propias oficinas. Los datos son recogidos por organismos especializados que los leen en las publicaciones originales los codifican y los introducen en memorias magnéticas, tales como los discos del ordenador. Esta operación se lleva a cabo con los terminales que se ven abajo a la izquierda. De aquí pasan al

memoria para textos

unidad central

terminal para la introducción de datos

control del funcionamiento del sistema y de las operaciones

transmisión al banco de datos con soporte de discos

satélite para telecomunicaciones

antena receptora-transmisora

Qué es un banco de datos Un banco de dinero es una organización a la que los depositantes llevan su dinero para que se conserve en cuentas corrientes y, a la vez, les produzca un interés. Por su parte, el banco presta ese dinero a quien lo solicita y reúne ciertas condiciones, cobrando por ello un interés bastante más elevado. En general, en cualquier banco son muchos los depositantes y pocos los prestatarios.

En el caso de un banco de datos sucede todo lo contrario. Cualquiera puede obtener datos del banco, con tal de que pague una pequeña fianza y un canon proporcional al volumen de datos que solicite. En cambio, pocas organizaciones están capacitadas para proporcionar datos almacenados en un banco. La razón está en el hecho de que los datos deben ser suministrados a través de unas normas bien precisas, de modo que respeten siempre las reglas que servirán a los usuarios para acceder a la información.

Físicamente, un banco de datos está constituido por un gran ordenador con una extensa memoria externa (por lo común, en discos magnéticos). Esta memoria está dividida en sectores. Cada sector contiene los datos de una disciplina o campo particular, es decir, una *base de datos específica*: así, un banco puede tener bases de datos que traten de física, química, industria farmacéutica, acuicultura, comercio exterior, y así de otras muchas materias y actividades. Conectada al ordenador se encuentra una especie de centralita telefónica que recoge y clasifica las llamadas que llegan de los usuarios. Cada uno tendrá el ordenador a su servicio por el tiempo necesario, que le ayudará a encontrar entre las bases de datos la correspondiente a los datos buscados.

Los mayores bancos de datos están formados por más de cien bases de datos y cada una de ellas puede estar compuesta por decenas, cientos, millares e incluso más de un millón de datos concernientes a publicaciones e informaciones (con al menos un centenar de palabras cada una).

Cómo se usa un banco de datos Un banco de datos es como una riquísima biblioteca, continuamente puesta al día por quienes recogen las informaciones en cada sector, y que puede consultarse cómodamente desde la mesa de trabajo de la propia oficina. Basta disponer de un terminal de ordenador o de una línea telefónica (privada o de la red normal) que conecte su llamada al ordenador del banco. Se puede, incluso, establecer conexión de un continente a otro; en la mayoría de los casos, dicha conexión se realiza mediante satélites.

Para consultar el banco es necesario disponer de los textos apropiados que muestran cómo está organizada la información en la base de datos particular que se quiere explorar. Es posible, pues, llevar a cabo la consulta rápidamente; siendo así que la conexión se paga por la ocupación de la línea telefónica y por el uso del ordenador, cuanto más veloz sea la búsqueda, menos costará la información deseada.

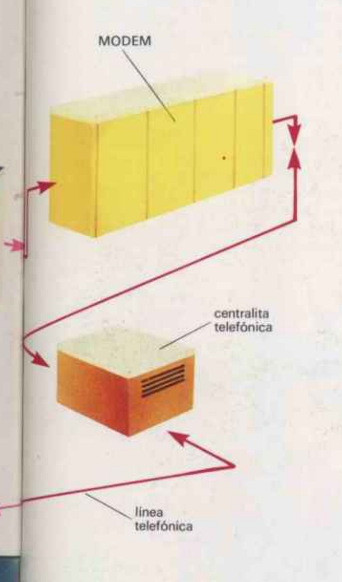
Hoy día son ya numerosos los bancos de datos existentes; los usuarios se abonan al que les ofrece mayores ventajas, ya porque esté más próximo y cueste menos en tiempo de conexión, ya porque contenga datos especializados de mayor interés para el usuario. Así, muchas empresas que operan en el campo de las "tecnologías de punta" no tienen que preocuparse de disponer de una biblioteca completa y actualizada, ya que pueden obtener la información de manera más económica y rápida por medio de la conexión con un banco de datos. La organización de la información en bases de datos permite al interesado una búsqueda exhaustiva.

Véase **Datos, base de**

ordenador distribuidor (centro), que los suministrará, previa petición, a los clientes. En el ordenador en que está almacenada la información, ésta se halla dividida en bases de datos —una base para cada materia— organizadas según un esquema particular y el usuario debe aprender a extraer la información que le interesa. En la parte central de la figura se ve el gran ordenador, que debe ser veloz para poder efectuar de modo eficaz búsquedas entre mucha información; pero la parte más importante del sistema es, evidentemente, la gran memoria que contiene los datos.

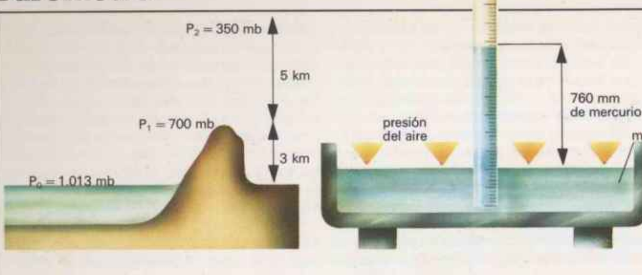


La instalación necesaria para estar en contacto con un banco de datos es simple: un teléfono para conectarse a una línea nacional, continental o intercontinental, un teclado con vídeo para las consultas y una impresora para obtener en forma escrita el dato que se recibe del banco. Aunque no sean "instalación", son indispensables los libros de guía para la búsqueda en las bases de datos.





Barómetro



Los barómetros son instrumentos que sirven para medir la presión que la atmósfera ejerce sobre los cuerpos inmersos en ella. De gran utilidad en meteorología y en navegación marítima, permiten predecir la aproximación de tempestades y, en general, conocer si en las horas siguientes a la medición tendrá lugar algún cambio significativo del tiempo. Su principio se basa en una propiedad desconocida durante siglos: el peso del aire.

Aristóteles llegó a la conclusión de que el aire no pesaba después de colocar en una balanza una vejiga vacía y posteriormente llena de aire, encontrando que en ambos casos el peso era el mismo. Esta opinión errónea se mantuvo hasta 1643, año en que el italiano Evangelista Torricelli, discípulo de Galileo, realizó un experimento de trascendental importancia en la historia de la Física. Torricelli llenó de mercurio un delgado tubo de vidrio y una cubeta abierta; tapando el extremo libre del tubo con un dedo, lo invirtió y lo introdujo en la cubeta manteniéndolo en posición vertical. En esta posición quitó el dedo, cuidando de que no penetrase aire al hacerlo. Observó entonces que el nivel del mercurio contenido en el tubo descendía hasta detenerse a una altura de 760 milímetros de la superficie de la cubeta. Tres años después, Pascal repitió este experimento utilizando un tubo de 15 metros de largo e igual sección, pero sustituyendo el mercurio por vino, encontrando que, en este caso, la columna de vino se estabilizaba a una altura de 10,3 metros; calculó entonces el peso del vino contenido en el tubo, resultando ser idéntico al del mercurio del experimento de Torricelli. En ambos casos el peso del líquido había quedado equilibrado con el del aire sobre la superficie de la cubeta. En 1648, Perier, por indicación del propio Pascal, utilizando un barómetro de este tipo, realizó mediciones sobre la cima de una montaña, observando que la longitud de la columna de mercurio decrecía con la altura, confirmando de este modo que la presión sobre la cubeta era debida al peso de la capa de aire que hay sobre el lugar donde se realiza la medición.

Esta propiedad de la atmósfera sugirió a los tripulantes de los primeros vuelos en globos aerostáticos de carácter científico la utilización del barómetro para conocer la altura a la que se encontraban, dando origen a un nuevo tipo de instrumentos: los *altímetros*, que aportaron una ayuda inestimable en el desarrollo de la navegación aérea.

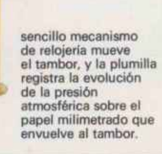
Unidades de la presión atmosférica La presión media en la superficie del mar se denomina *presión atmosférica normal* y su valor es de 1,033 kilogramos por centímetro cuadrado. En meteorología, la unidad generalmente utilizada es el *milibar* (mb), que representa una presión de 1.000 dinas (unidad de fuerza en el sistema cegesimal) por centímetro cuadrado; a una lectura barométrica de 1.013 mb le corresponde una altura de mercurio de 760 mm y una presión de 1,033 kilogramos por centímetro cuadrado.

La presión atmosférica varía con la altitud, y es función del peso de la columna de aire situada por encima del lugar donde se realiza la medida; al acumularse el aire en los primeros kilómetros de la atmósfera, la presión (arriba a la izquierda) disminuye rápidamente con la altura. Sobre estas líneas, el principio del barómetro de mercurio: una singular balanza formada por un tubo de vidrio cerrado por un extremo y lleno de mercurio que se introduce en posición vertical e invertida en una cubeta conteniendo el mismo líquido. El peso que ejerce la atmósfera sobre el líquido del recipiente se equilibra con el peso de la columna de mercurio. Si la presión atmosférica aumenta, el nivel del mercurio en la columna sube, y, si disminuye, el nivel de la columna desciende. Prácticamente desde la invención del barómetro se sabe que las bajas presiones están asociadas a mal tiempo y las altas presiones a tiempo seco y estable. En el gráfico de abajo vemos la variación del valor medio de la presión atmosférica con la latitud, en invierno y en verano. A la derecha, un barómetro de mercurio de pared con los dispositivos de ajuste para corregir los efectos de la altitud del lugar en donde vayan a realizarse las mediciones.

presión (en mb)
1022 (m bar) · 1020 · 1018 · 1016 · 1014 · 1012 · 1010
invierno · verano
0 · 10 · 20 · 30 · 40 · 60 · 70 · 80 · 90
latitud

nivel del mercurio
protección de la columna
depósito del mercurio
tornillo de ajuste

En la otra página, arriba, un barómetro aneroide del tipo Bourdon: un tubo de sección circular o rectangular en forma de herradura, cerrado herméticamente y en el que se ha hecho el vacío parcialmente, se deforma, abriéndose o cerrándose según las variaciones de la presión exterior; un sensible mecanismo multiplicador traduce los imperceptibles movimientos de los extremos del tubo en amplios desplazamientos de la aguja sobre el limbo graduado. Este tipo de instrumentos dispone de otra aguja que se mueve libremente sobre la escala; su ajuste manual permite recordar el valor de la última lectura. Otro barómetro aneroide, más utilizado que el anteriormente descrito, utiliza como elemento sensor cápsulas en forma de disco, cerradas herméticamente y de las que se ha extraído parte del aire. Los barómetros aneroides, aunque menos sensibles que los de mercurio, les aventajan en solidez, comodidad de lectura y facilidad de transporte. Se utilizan en todos los casos en que no se necesite una gran precisión en las medidas. Abajo, a la derecha, un barómetro aneroide dotado de un mecanismo que registra gráficamente sobre un tambor giratorio los valores de la presión (barógrafo). La disposición en batería de las cápsulas sensoras multiplica los desplazamientos de cada una de ellas, que son transmitidos a una aguja en cuyo extremo se ha acoplado una plumilla entintada; un

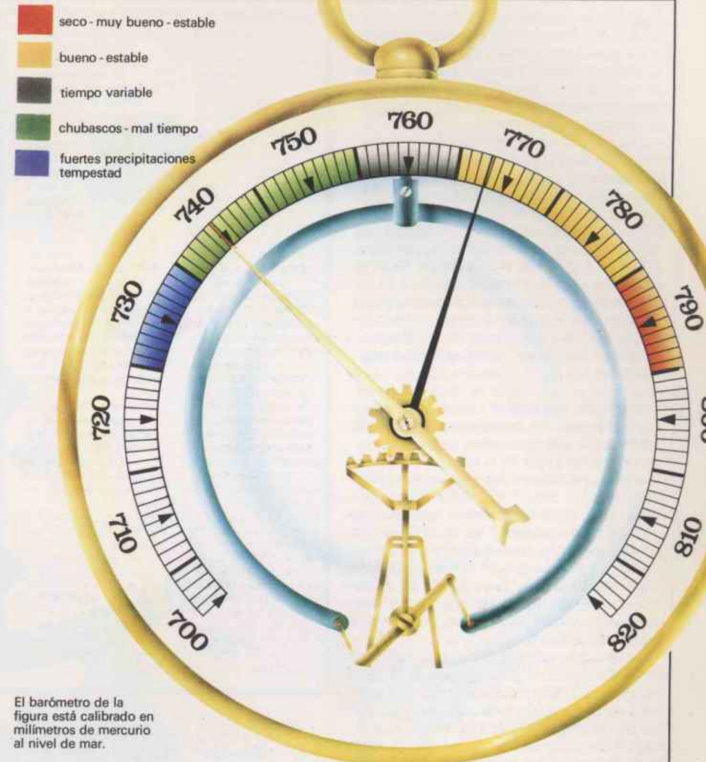


sencillo mecanismo de relojería mueve el tambor, y la plumilla registra la evolución de la presión atmosférica sobre el papel milimetrado que envuelve al tambor.

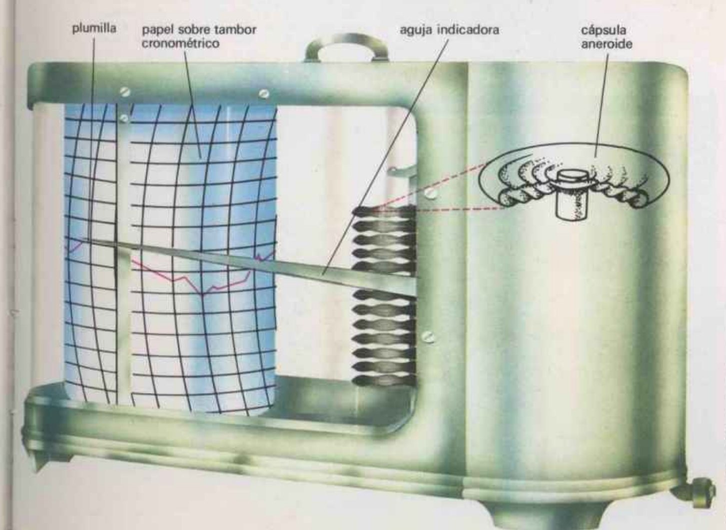
Aunque desde la invención del barómetro se han realizado mejoras para evitar el efecto de capilaridad y eliminar la dificultad de fijar el cero —ya que las variaciones en la altura de la columna dan lugar a variaciones en el nivel del mercurio de la cubeta—, el principio fundamental se ha mantenido, con pequeñas modificaciones, hasta nuestros días. Si se desean medidas precisas, debe tenerse en cuenta qué cambios en la temperatura ambiente dan lugar a contracciones o dilataciones en el mercurio y en el vidrio, por lo que las medidas deben corregirse para referirlas a una temperatura estándar (0 °C).

Barómetros sin mercurio El barómetro de Torricelli es incómodo de transportar y extremadamente frágil. Para evitar esos inconvenientes se desarrollaron los *barómetros aneroides*, consistentes, en esencia, en una caja metálica cerrada herméticamente, generalmente en forma de disco o conjunto de discos ondulados, de la que se ha extraído parte del aire. Cuando la presión atmosférica aumenta, el disco se comprime, y, cuando disminuye, el disco —por efecto de su presión interior— se expande. Estas variaciones son transmitidas por un sistema de palancas a una aguja indicadora sobre un limbo graduado. Aunque necesitan ser calibrados con los barómetros de mercurio, su solidez y fácil manejo han hecho de ellos instrumentos imprescindibles para la navegación marítima y de uso doméstico muy extendido.

Se denominan *barógrafos* a los barómetros aneroides en los que al extremo de la aguja se le adapta una plumilla entintada, registrando en papel milimetrado, y sobre un tambor que gira con un mecanismo de relojería, las variaciones de presión durante un largo período de tiempo, liberando al meteorólogo de la servidumbre de la toma continuada de medidas.



El barómetro de la figura está calibrado en milímetros de mercurio al nivel de mar.



Aunque para un mismo punto de la Tierra existen variaciones periódicas diarias y estacionales de la presión del aire, éstas son pequeñas comparadas con las asociadas a distintas situaciones meteorológicas. Ya en el siglo XVIII se sabía que las bajas presiones estaban asociadas a mal tiempo, y las altas presiones a tiempo seco y estable, pero hasta principios de nuestro siglo no se han realizado medidas continuadas en una extensa red de puntos de la Tierra. Los valores de la presión son referidos al nivel del mar para corregir las diferencias debidas a las distintas alturas de los observatorios, y son llevadas a un mapa sobre el que se trazan líneas de igual presión (isobaras) que dan una visión a gran escala de las áreas de altas y bajas presiones en la atmósfera, sirviendo a los meteorólogos de gran ayuda para la predicción del tiempo.

Véase **Clima; Meteorología, instrumentos de; Meteorología, predicción; Presión atmosférica; Tiempo atmosférico**

Batidora

Muchas recetas necesitan que los ingredientes estén bien mezclados, y la perspectiva de batir a mano la pasta de un dulce trescientas o cuatrocientas veces no es muy agradable. Hoy más que nunca estamos condicionados por la batidora para preparar alimentos.

Las *batidoras eléctricas* están en el mercado desde los años treinta y constituyen un accesorio indispensable para una cocina bien equipada. Además, permiten ahorrar una gran cantidad de tiempo y de esfuerzo en mezclar, batir y amasar los alimentos; algunos modelos hacen puré, pican y rallan los alimentos, y muelen también el café y la carne. Muchas de las funciones de la batidora son realizadas también por otros pequeños electrodomésticos; pero, en lo que concierne a su empleo como mezcladora, es aún insustituible.

Tipos de batidora Existen dos tipos fundamentales de batidoras eléctricas. El modelo *fijo*, que comúnmente permanece en un mismo lugar en la cocina, ya que el motor (normalmente de una potencia entre 1/16 y 1/4 de CV) es relativamente pesado. Este electrodoméstico consiste en un soporte o pedestal y en un alojamiento para el motor, al cual se aplican dos molinillos. La parte superior del soporte está abisagrada, a fin de permitir cierto movimiento a la batidora para mezclar el contenido del vaso o facilitar su desmontaje para limpiarla.

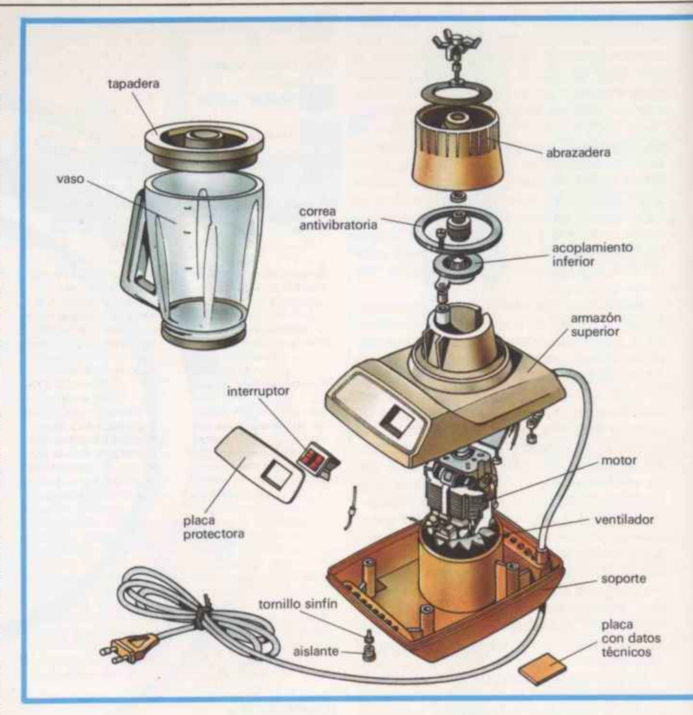
El segundo tipo de batidora eléctrica es el modelo *portátil* con empuñadura. Este tipo está muy difundido, especialmente en las pequeñas cocinas, donde hay poco espacio disponible. Esta batidora funciona según los mismos principios que la más grande, pero debe ser sujetada con la mano o sostenida durante la operación del batido. Presenta otras ventajas, como: ser menos costosa que el modelo fijo, permitir el batido o la mezcla de alimentos directamente en el recipiente en que se han cocido, una limpieza más fácil, etcétera.

Conviene señalar también que existen modelos fijos en los cuales la sección mezcladora puede separarse y ser usada aparte, obteniéndose así algunas de las ventajas de los dos modelos mencionados.

Los principios de funcionamiento son siempre los mismos, independientemente del tipo de batidora. El alimento es mezclado o batido mediante unas cuchillas giratorias que son accionadas por el árbol del motor. Las cuchillas de cada modelo se pueden extraer y cambiar con facilidad, tirando de ellas hacia afuera del cuerpo del artefacto hasta sentir el ruido seco de un resorte.

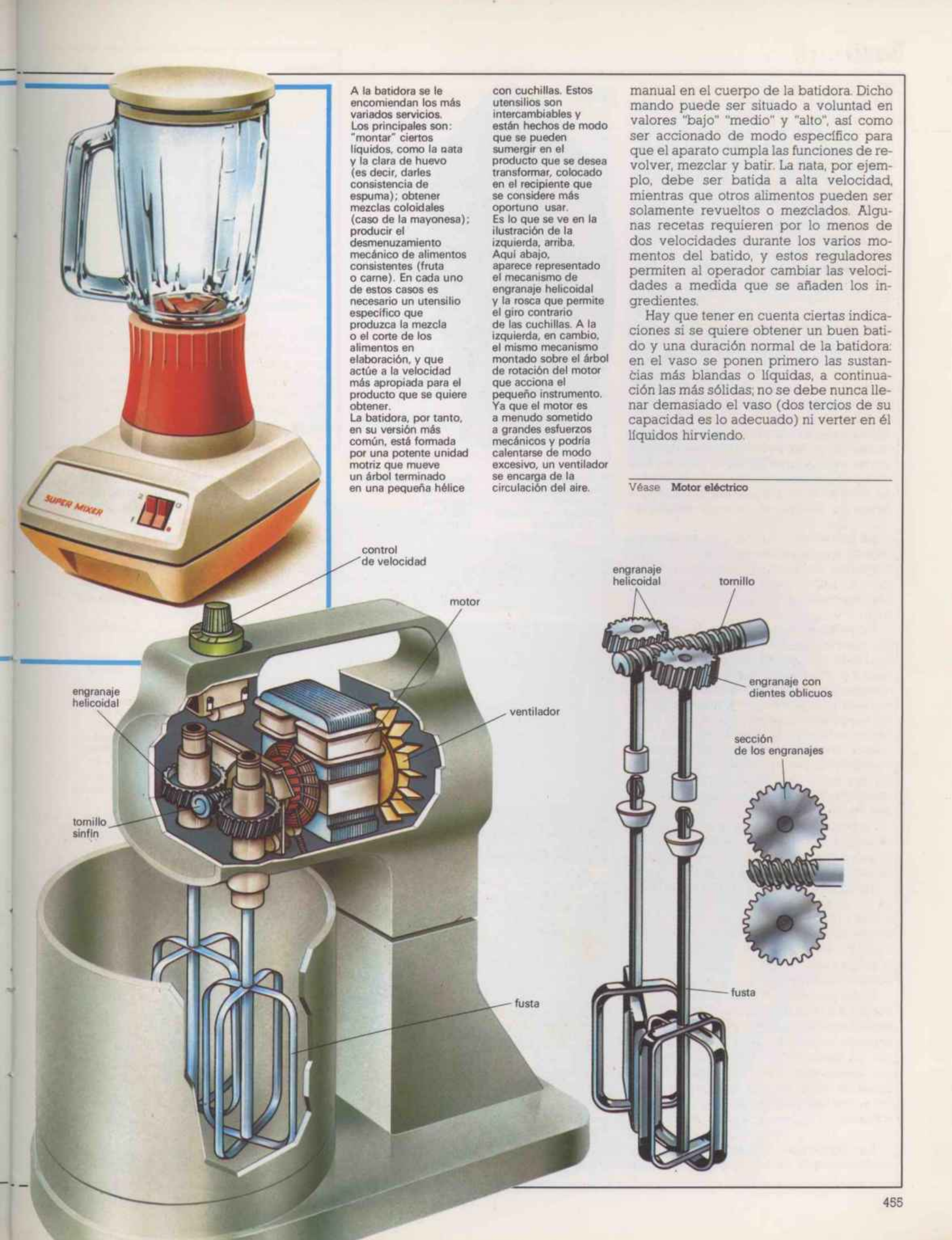
Generalmente, las batidoras portátiles están dotadas de un enganche que permite colgarlas en la pared o en un mueble. El motor puede ser accionado con corriente alterna o con corriente continua.

La velocidad a la cual giran las cuchillas está regulada por un control o mando



Sobre estas líneas, batidora, modelo fijo, que permite transformar sustancias en su mismo vaso de vidrio. El movimiento de rotación es producido por las cuchillas situadas en la parte inferior del vaso, que están conectadas al motor, acoplado en la parte inferior de la batidora.





A la batidora se le encomiendan los más variados servicios. Los principales son: "montar" ciertos líquidos, como la nata y la clara de huevo (es decir, darles consistencia de espuma); obtener mezclas coloidales (caso de la mayonesa); producir el desmenuzamiento mecánico de alimentos consistentes (fruta o carne). En cada uno de estos casos es necesario un utensilio específico que produzca la mezcla o el corte de los alimentos en elaboración, y que actúe a la velocidad más apropiada para el producto que se quiere obtener.
La batidora, por tanto, en su versión más común, está formada por una potente unidad motriz que mueve un árbol terminado en una pequeña hélice con cuchillas. Estos utensilios son intercambiables y están hechos de modo que se pueden sumergir en el producto que se desea transformar, colocado en el recipiente que se considere más oportuno usar.
Es lo que se ve en la ilustración de la izquierda, arriba. Aquí abajo, aparece representado el mecanismo de engranaje helicoidal y la rosca que permite el giro contrario de las cuchillas. A la izquierda, en cambio, el mismo mecanismo montado sobre el árbol de rotación del motor que acciona el pequeño instrumento. Ya que el motor es a menudo sometido a grandes esfuerzos mecánicos y podría calentarse de modo excesivo, un ventilador se encarga de la circulación del aire.

manual en el cuerpo de la batidora. Dicho mando puede ser situado a voluntad en valores "bajo" "medio" y "alto", así como ser accionado de modo específico para que el aparato cumpla las funciones de revolver, mezclar y batir. La nata, por ejemplo, debe ser batida a alta velocidad, mientras que otros alimentos pueden ser solamente revueltos o mezclados. Algunas recetas requieren por lo menos de dos velocidades durante los varios momentos del batido, y estos reguladores permiten al operador cambiar las velocidades a medida que se añaden los ingredientes.

Hay que tener en cuenta ciertas indicaciones si se quiere obtener un buen batido y una duración normal de la batidora: en el vaso se ponen primero las sustancias más blandas o líquidas, a continuación las más sólidas; no se debe nunca llenar demasiado el vaso (dos tercios de su capacidad es lo adecuado) ni verter en él líquidos hirviendo.

Véase **Motor eléctrico**

Bazo

En el transcurso de una revisión médica, una de las exploraciones que suelen realizarse es la correspondiente al bazo, órgano situado en la región izquierda del abdomen. Si este órgano está aumentado de tamaño y es sensible al tacto, es muy probable que padezca una infección. En determinados estados morbosos, que abarcan desde una simple infección hasta otros procesos como la cirrosis hepática y la leucemia, el bazo puede agrandarse hasta llegar incluso a tener un tamaño ocho veces superior a su volumen normal.

Por regla general, en el adulto, el bazo tiene aproximadamente las dimensiones de un puño y pesa entre 100 y 140 gramos; se encuentra situado en el hipocondrio izquierdo, entre el estómago y la columna vertebral, debajo del diafragma y por encima de la curvatura izquierda del colon. A lo largo del margen medial del bazo se encuentra una larga fisura llamada *hilio*. En la vecindad de esta fisura, la arteria que lleva la sangre al bazo (*arteria esplénica*) se divide en dos ramas, que penetran separadamente en el órgano. Las venas abandonan el bazo con un recorrido inverso al de las arterias, y posteriormente se reúnen en la vena esplénica.

La estructura El bazo es un órgano linfoide que se encuentra intercalado en el aparato circulatorio, a diferencia de los ganglios linfáticos, que son órganos linfoides intercalados en la circulación de la linfa.

Externamente, el bazo está delimitado por una cápsula fibrosa desde la cual parten hacia el interior unos tabiques denominados *trabéculas*, que constituyen una especie de armadura o esqueleto de sostén. Estructuralmente se compone de un tejido linfoide típico (*pulpa blanca*) y de un tejido linfoide atípico (*pulpa roja*).

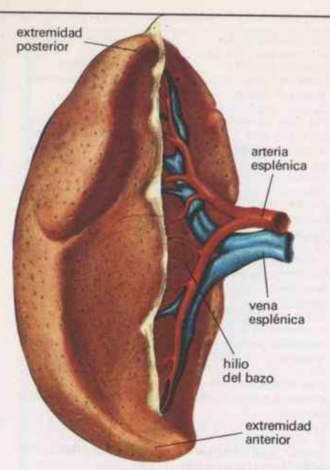
La pulpa roja, de color rojo oscuro y consistencia pastosa, está constituida por los senos venosos, entre los cuales se interponen unos cordones celulares (*cordones de Billroth*).

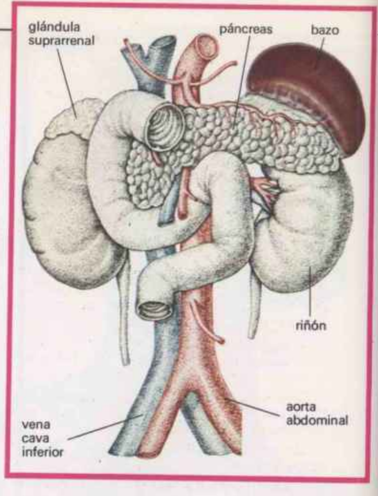
La pulpa blanca aparece bajo la forma de unas áreas grises (*corpúsculos de Malpighi*) constituidas por tejido rico en linfocitos.

Tanto en la pulpa roja como en la blanca existe una espesa trama de fibras reticulares que forman una armadura, entre cuyas mallas se encuentran numerosos linfocitos macrófagos, y —únicamente en la pulpa roja— todos los elementos constitutivos de la sangre.

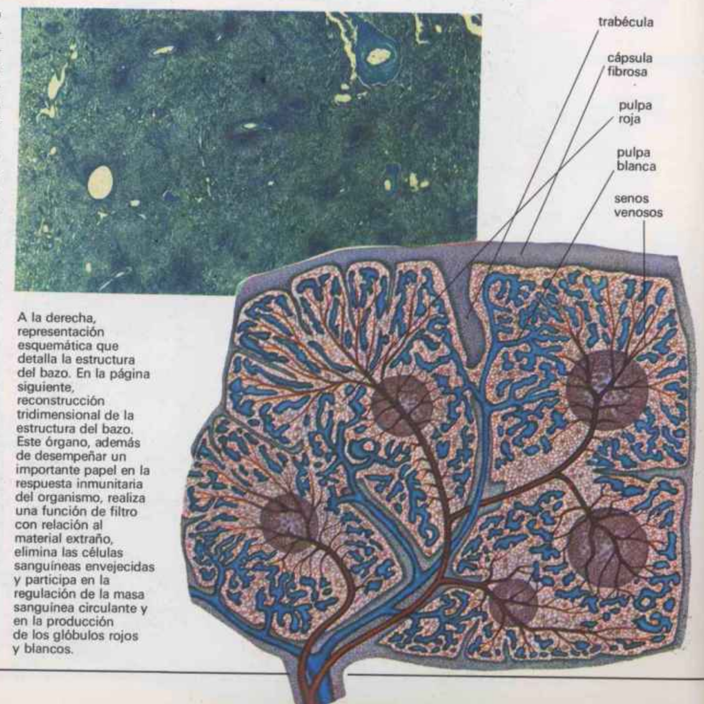
Unas pequeñas arterias transportan la sangre a través de la pulpa blanca, rica en fagocitos, hasta la pulpa roja, que tiene un aspecto esponjoso, estando constituida por un tejido poco compacto, salpicado por minúsculas cavidades dispuestas en forma de racimos y que terminan en el sistema venoso, que retorna la sangre al corazón.

Las funciones El bazo desempeña principalmente funciones hemopoyéticas y hemocateréticas. Los glóbulos rojos envejecidos y alterados son destruidos en el bazo por obra de los macrófagos, células dotadas de la propiedad de fagocitar (es decir, capaces de englobar a los glóbulos rojos y destruirlos). De la hemoglobina de los glóbulos rojos destruidos el bazo extrae el hierro y lo introduce en la circulación sanguínea, de modo que pueda ser





En la imagen superior, el bazo visto por su cara visceral (a la izquierda) y en relación con los órganos vecinos (a la derecha). Las exploraciones con isótopos radiactivos, así como los estudios inmunológicos, han demostrado que el bazo ejerce sus distintas funciones en coordinación con otros órganos tales como el hígado, la médula ósea, etcétera. En la imagen inferior, sección del bazo al microscopio.



A la derecha, representación esquemática que detalla la estructura del bazo. En la página siguiente, reconstrucción tridimensional de la estructura del bazo. Este órgano, además de desempeñar un importante papel en la respuesta inmunitaria del organismo, realiza una función de filtro con relación al material extraño, elimina las células sanguíneas envejecidas y participa en la regulación de la masa sanguínea circulante y en la producción de los glóbulos rojos y blancos.

reutilizado para la producción de nuevos glóbulos por parte de la médula ósea roja. El bazo ejerce además funciones de órgano de depósito de los glóbulos rojos, que son retenidos en la pulpa roja y cedidos a la sangre circulante según las exigencias. Esto se lleva a cabo mediante un fenómeno de "contracción" o "estrujamiento" del bazo, que, al igual que una esponja, se vacía de su contenido. Es este el motivo del dolor que puede experimentarse a veces en el flanco izquierdo tras un esfuerzo muscular muy intenso o tras una carrera veloz, ejercicios que requieren una mayor cantidad de sangre en circulación.

Otra importante función llevada a cabo por el bazo es la inmunitaria. En efecto: en el bazo se produce la mayor parte de los linfocitos, células sanguíneas capaces de sintetizar anticuerpos y, por tanto, esenciales para las reacciones de defensa del organismo contra las infecciones bacterianas y víricas.

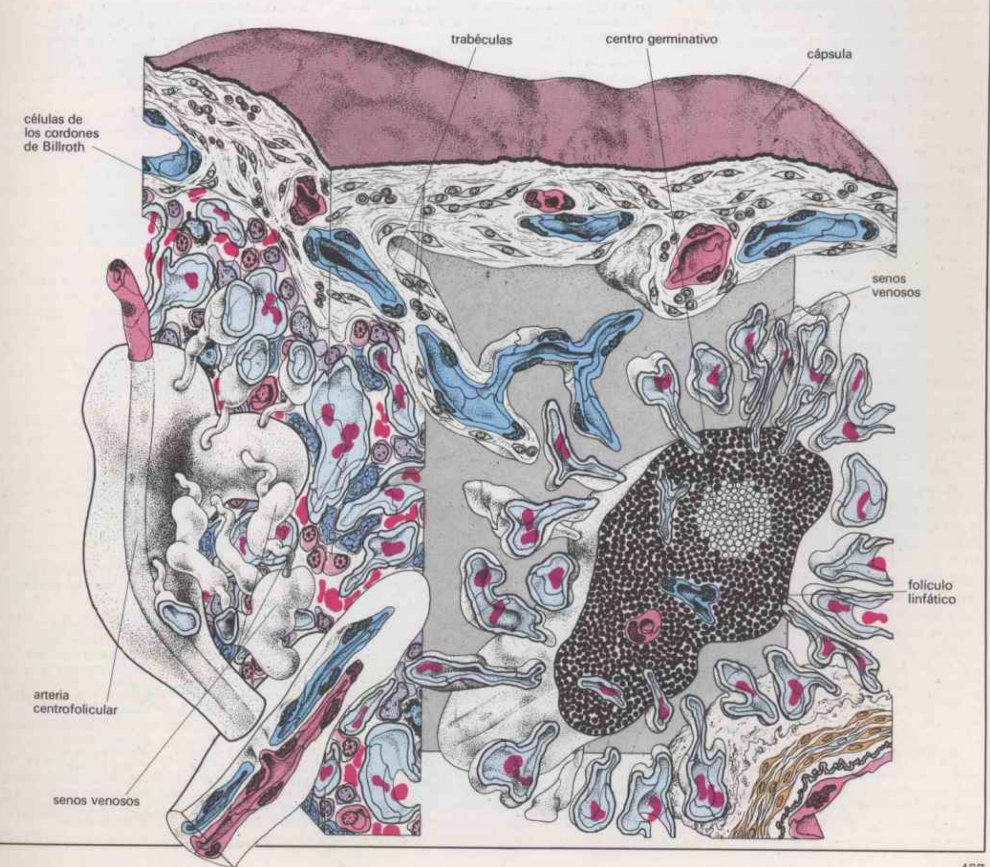
Sin embargo, a pesar de la importancia de sus funciones, el bazo no es un órgano esencial para la vida, y no porque sus funciones no sean útiles, sino, más bien, porque esas mismas funciones pueden ser desarrolladas por otros tejidos hematopoyéticos. No es de extrañar, por ello, que personas a las que se les ha extirpado quirúrgicamente el bazo vivan normalmente.

Las enfermedades La inflamación y el aumento de volumen del bazo (denominados respectivamente *esplenitis* y *esplenomegalia*) son, en general, secundarios a enfermedades infecciosas agudas generadas por bacterias (tifoidea, septicemia, etc.) o por virus (mononucleosis infecciosa, hepatitis vírica, etcétera).

La esplenomegalia puede observarse también en el curso de enfermedades infecciosas crónicas (paludismo, sífilis, turberculosis, fiebre tifoidea, etc.), trastornos de la circulación, enfermedades congénitas del metabolismo y enfermedades de la sangre (anemias hemolíticas, leucemias, policitemias, etcétera).

A veces, como ya se ha dicho, puede ser necesaria la extirpación del bazo (*esplenectomía*): puede ocurrir esto en los casos de traumatismos abdominales con aplastamiento del órgano, en la trombosis de la vena esplénica, en los aneurismas de la arteria esplénica, en los tumores del bazo, en algunas enfermedades hemolíticas, etc. Se trata de una intervención bien tolerada: después de un período de disminución de los glóbulos rojos y de aumento de los glóbulos blancos y de las plaquetas, la situación se va normalizando lentamente; el único inconveniente es que el organismo queda privado de un importante depósito de sangre al que recurrir en situaciones de emergencia, cuando fuera preciso incrementar la cantidad de sangre circulante, como en el caso de hemorragias, etcétera.

Véase **Circulatorio, sistema; Linfático, sistema; Sangre y grupos sanguíneos**



Bebidas no alcohólicas

La historia de una gran parte del progreso humano es la que se refiere a los intentos practicados por el hombre para imitar a la Naturaleza. El desarrollo de la producción de bebidas no alcohólicas, bebidas con gas y aromatizadas no constituye una excepción.

Primeras bebidas no alcohólicas Ya en el año 1821 las bebidas no alcohólicas habían hecho su aparición en el mercado. El agua con gas —introducido natural o artificialmente— se mezclaba con aceites aromáticos, esencias de frutas, azúcar y especias para darle sabor. Las principales fábricas se establecieron en Ginebra, París, Londres, Dublín, Dresde y en New Haven, en Estados Unidos.

Durante los ochenta años siguientes, las bebidas no alcohólicas se hicieron cada vez más populares. Se distribuían botellas de agua gaseosa o de agua de *seltz* en los restaurantes y farmacias. O bien, quien deseaba tomar una de estas bebidas la preparaba él mismo echando una pequeña cantidad de jarabe en un vaso (había numerosos sabores diferentes) y llenando el resto del vaso con agua de *seltz*. Como en aquella época muchos de los fármacos, hoy rigurosamente controlados, se distribuían libremente, la mayoría de las farmacias vendían bebidas que contenían drogas tan dañinas como la heroína, la codeína y la cocaína. Muchos de estos jarabes contenían, pues, drogas que, mezcladas con cierta cantidad de líquidos aromáticos y azúcares, se utilizaban sin más en las casas. Lo único que se necesitaba era disponer de agua de *seltz*.

Los primeros anuncios publicitarios de bebidas no alcohólicas aseguraban que éstas eran capaces de "levantar el ánimo" de las personas cansadas, de calmar el sistema nervioso y de hacer sentirse bien a las personas infelices. Y puesto que estas bebidas contenían realmente fármacos muy potentes, estas afirmaciones eran, al menos temporalmente, totalmente ciertas. Por ejemplo, la coca-cola contenía originariamente cocaína, ¡y la siguió teniendo hasta los años veinte de nuestro siglo!

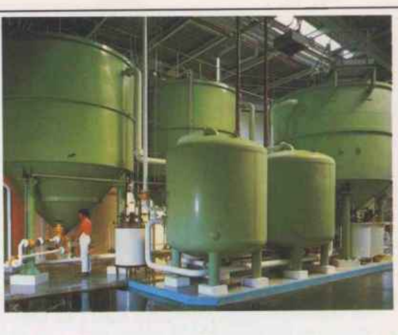
Hoy en día muchas bebidas no alcohólicas contienen cafeína, que es un estimulante natural que se encuentra en el café y en el té. Casi todas las bebidas no alcohólicas contienen azúcar, si bien en formas muy variadas. El azúcar y el gas son los que suelen hacer tan agradables este tipo de bebidas. Pero algunos expertos afirman que la gran cantidad de azúcar de estas bebidas puede ser perjudicial para los dientes de los niños, y la cafeína contenida en algunas de ellas, sobre todo en combinación con el azúcar, puede llegar a sobreexcitar tanto a los niños como a los adultos.

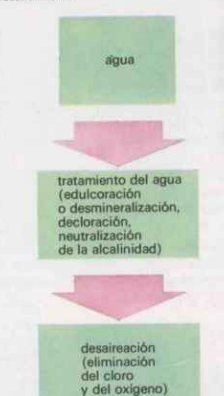
Producción de bebidas no alcohólicas En general, se fabrican de una de las dos maneras siguientes: combinando una solución de agua sin gas y el jarabe aromático con agua con mucho gas y embotellando después el conjunto, o bien vertiendo directamente el jarabe en las botellas y añadiendo a continuación el agua con gas. Por su parte, el agua gaseosa se produce a base de "hielo seco", que no es otra cosa que dióxido de carbono comprimido y congelado para facilitar su transporte.

Hoy en día las bebidas no alcohólicas se producen a gran escala. En general, el fabricante produce el jarabe aromatizado y el embotellador se encarga de utilizarlo en la preparación de la bebida y de embotellarla. Las operaciones se realizan con dispositivos totalmente automatizados. Las botellas, que se desplazan en una cinta transportadora, se llenan hasta un cierto nivel con el jarabe aromatizado, y después este contenido se diluye con el agua con gas que se les introduce a gran presión. Gracias a esta alta presión se mezclan automáticamente el jarabe y el agua con gas; las botellas, continuando sobre la cinta transportadora, son cerradas seguidamente con una cápsula metálica, quedando así dispuestas para su distribución y consumo.

Actualmente, algunas industrias producen directamente el dióxido de carbono añadiendo un ácido a un carbonato, que es un compuesto químico sólido que contiene carbono y oxígeno. De la reacción química se desprende dióxido de carbono, que se utiliza para la producción del agua con gas. En cambio, otros embotelladores, que desean evitarse los gastos de tener que producir el agua con gas, compran dióxido de carbono líquido contenido en recipientes de metal, en los que está sometido a alta presión. Cuando este

A la derecha y en frente, algunas fases de la producción de bebidas no alcohólicas. Las fases más importantes son: edulcoración del agua, preparación de las mezclas y embotellamiento.





Sobre estas líneas, esquema de la producción de una bebida no alcohólica. El tratamiento de las aguas no es indispensable, pero se hace cuando el agua disponible no está dotada de cualidades oligominerales específicas y no es absolutamente pura desde el punto de vista bacteriológico. El bajo contenido en sales minerales permite la adición de aromas naturales que se verían enmascarados por un exceso de sales minerales. Gran parte de las sustancias contenidas en estas bebidas son un buen alimento para gran número de bacterias, por lo que es necesario efectuar el embotellado en unas condiciones de perfecta esterilidad y total higiene. La adición del dióxido de carbono ayuda a inhibir el crecimiento de las bacterias.



PROPIEDADES DE LAS BEBIDAS NO ALCOHOLICAS

Componentes	Efecto
aromas	agradable y duradero
cafeína	excitante
azúcar	energético, nutritivo
ácido cítrico	acidificante
sales	quitan la sed, pues regulan el equilibrio iónico
agua	quita la sed, por hidratación
drogas aromático-digestivas	quitan la sed; actúan sobre el estómago y el hígado
dióxido de carbono	efecto efervescente agradable en la boca y en el esófago

Sobre estas líneas, propiedades de las bebidas no alcohólicas. No todas las bebidas contienen todos esos componentes; de hecho, algunas de ellas orientan sus propiedades en una determinada dirección y otras en otra distinta. Los componentes a los que más se debe el sabor de las bebidas y la aceptación del público son los aromatizantes, la cafeína y las sales.

Hay que recordar que sólo el agua es la que quita la sed. Pero la corrección con sales ayuda a impedir la sensación de sed por desequilibrio iónico, y muchas drogas, actuando sobre el hígado y los órganos encargados de la digestión, suprimen el mal estado derivado de las digestiones difíciles. El azúcar constituye una fuente energética.

0,5% citrato sódico, glucosa, ácido cítrico, ácido fosfórico y extracto de cola

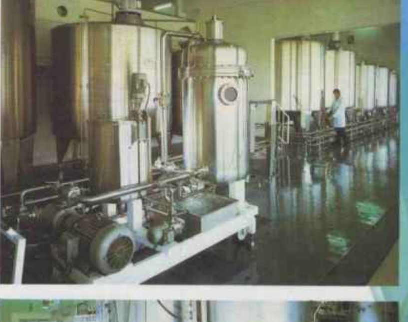
9,5% azúcar

90% agua

contenido a presión se libera, el líquido vuelve a convertirse en gas y se le hace burbujear en el agua para producir agua con gas, método empleado desde hace ya largo tiempo.

La bebida no alcohólica más conocida en el mundo es la coca-cola. La compañía productora controla muy de cerca sus filiales extendidas por todo el mundo, y la fórmula del jarabe al que añade el agua con gas es un secreto celosamente guardado. De hecho, la filial india de la empresa fue obligada a cerrar porque la compañía se negaba a revelar la fórmula del jarabe a las autoridades.

La segunda bebida no alcohólica más vendida en el mundo es la pepsi-cola, que mantiene una fuerte competencia con la anterior. Fruto de esa lucha comercial es la anécdota siguiente: cuando la pepsi-cola comenzó a ser producida en China, en 1981, los encargados de efectuar el control de calidad dentro de la compañía descubrieron que el azúcar chino, groseramente refinado, no era adecuado para obtener la bebida en cuestión, viéndose obligados a importar un edulcorante más refinado, y es que la competencia en el campo de la producción de bebidas no alcohólicas es tan fuerte, que los productores controlan con gran cuidado la calidad de sus ingredientes para asegurar la mayor uniformidad posible de su producto.





En la elaboración de bebidas no alcohólicas se utilizan actualmente sustitutivos del azúcar, lo que es bueno para los diabéticos y para cuantos están a régimen, aunque se desconoce si tiene otras consecuencias no deseables.

Con el creciente interés por la salud y por los alimentos naturales, la simple agua de *seltz*, carente de cafeína, azúcar, sales y aromas, es hoy en día más popular que nunca.

Véase **Agua; Agua, potabilización del; Agua mineral; Carbono**

La botella dibujada arriba muestra el porcentaje de los distintos componentes de una bebida. El agua está en una cantidad preponderante, el azúcar —cuando está presente— le sigue en magnitud. El resto de los componentes aparece en cantidades ínfimas.

Betatrón

El desarrollo del betatrón constituye un ejemplo de cómo la investigación científica pura puede, de forma imprevisible, producir máquinas de enorme utilidad práctica para la Humanidad. Los *betatrones* fueron originalmente desarrollados como máquinas para estudiar el átomo. Sin embargo, para esta finalidad han quedado obsoletos, siendo sustituidos por los *electrosincrotrones*, mientras que se emplean en Medicina y en la industria como fuentes de rayos X de elevada energía.

Acelerador de partículas El betatrón, inventado en 1940 por el físico estadounidense Donald W. Kerst, es un tipo particular de acelerador de partículas, que es un instrumento utilizado por los físicos para estudiar el núcleo atómico. Estas máquinas emplean esas minúsculas partículas de materia cargadas eléctricamente que son los electrones, las aceleran a gran velocidad y las disparan sobre los átomos, produciéndose una colisión directa con un núcleo, al que rompe. De esta manera, los científicos —estudiando la respuesta del choque electrón-núcleo atómico— tratan de inferir conclusiones acerca de cómo es la constitución interna del núcleo atómico. El nombre "betatrón" se debe a que este tipo de máquina acelera sólo *partículas beta*, que es otra forma de denominar a los electrones.

Durante muchos años los científicos intentaron acelerar una partícula a una velocidad suficiente como para partir el compacto y minúsculo núcleo del átomo. Se probaron muchos métodos para acelerar las partículas; todos ellos, sin embargo, empleaban campos eléctricos. Un campo es una región del espacio en la que se siente la acción de una fuerza: el campo gravitacional del Sol, por ejemplo, ejerce una fuerza sobre todos los objetos que se encuentran en el interior de la enorme región que constituye su campo, que prácticamente llega hasta las estrellas cercanas. También las partículas cargadas eléctricamente ejercen fuerzas. La carga negativa de un electrón produce un campo que repele a otras cargas negativas y atrae a las positivas.

Normalmente, un acelerador de partículas acelera una partícula —por ejemplo, un electrón— cuando en un espacio interior de la máquina ha sido depositada una carga positiva que atrae al electrón y en otro ha sido depositada una carga negativa que lo repele. Los electrones, atraídos por delante y empujados por detrás, se ven acelerados cuando pasan a través de estas dos zonas de la máquina. El empleo repetido de estas fuerzas logra comunicarles velocidades muy elevadas. Los electrones se mantienen o están confinados en sus trayectorias por medio de *campos magnéticos*. Cuando una partícula cargada se mueve en un campo magnético uniforme, el campo curva su trayectoria de forma circular. Cuanto más intenso es dicho campo, más curvada resulta la trayectoria de la partícula.

Si se conecta una fuente de tensión (por ejemplo, una pila) a una espira (a) arrollada alrededor de un hierro, en otra espira (b) se puede medir una corriente inducida. La misma corriente instantánea circula por (c). La conexión de un circuito como (a), en (d), induce a los electrones a moverse siguiendo una trayectoria circular por un aro hueco (e).

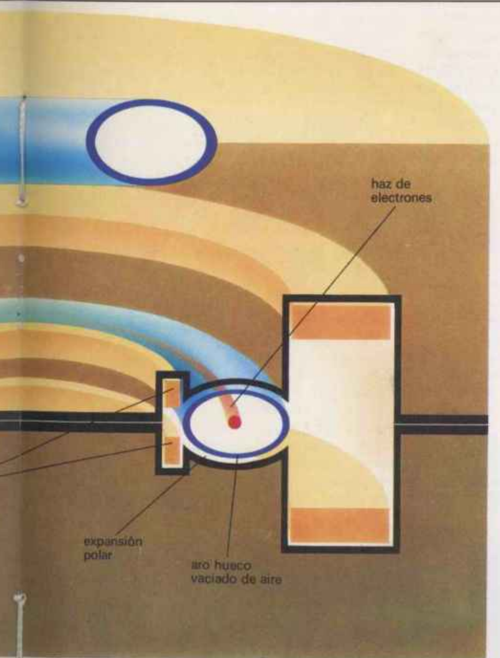
Otros imanes de un acelerador de partículas (con campos no uniformes) focalizan un haz de partículas de la misma manera que una lente focaliza un haz de luz. El betatrón, sin embargo, emplea un sistema diferente para acelerar los electrones. Como otros aceleradores de partículas, emplea campos eléctricos, única forma que se conoce de acelerar partículas. Pero en lugar de hacer uso de partes internas con cargas eléctricas diferentes, el betatrón emplea la propiedad de que el campo magnético, bajo ciertas condiciones, puede producir él mismo un campo eléctrico. Es el principio que se aplica en los transformadores eléctricos.

El principio del transformador El transformador eléctrico es un dispositivo que transfiere potencia eléctrica de un devanado a otro mediante un campo magnético. Un transformador elemental podría estar constituido por una barrita de hierro de sección rectangular conocida como *núcleo*. En una extremidad del núcleo está enrollado un devanado de cable conductor, el devanado *primario*, o simplemente "primario"; el otro devanado, llamado *secundario*, está bobinado en la extremidad opuesta.

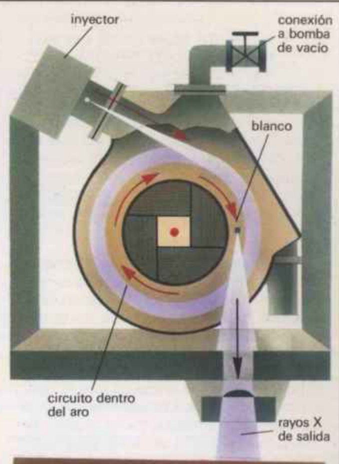
El transformador se basa en el principio de que un campo eléctrico variable —un campo cuya intensidad sufra variaciones— produce un campo magnético variable, que a su vez produce otro campo eléctrico. Así, cuando se hace pasar una corriente eléctrica variable con el tiempo por el devanado primario, en el núcleo de hierro se produce un campo magnético también variable. Este campo magnético variable produce a su vez otro campo eléctrico; este hace que circulen electrones por el devanado secundario, lo que constituye una corriente eléctrica a su través.

El principio del betatrón El betatrón emplea el mismo principio del transformador, pero con la siguiente diferencia: en lugar de utilizar un campo magnético variable para hacer circular electrones por un circuito, el betatrón lo emplea para obligar a grupos de electrones libres a moverse alrededor del núcleo de hierro. De esta manera el betatrón transfiere potencia eléctrica de un devanado a los electrones que se mueven libremente. El betatrón es un transformador cuyo secundario no es un devanado de cable eléctrico, sino un haz de electrones libres.

En líneas generales, conforme los electrones aumentan su propia velocidad deberían verse menos afectados por el campo magnético que tiende a curvar su trayectoria e iniciar un recorrido en espiral alejándose paulatinamente del centro. Sin embargo, los betatrones han sido diseñados de manera que, al aumentar la potencia eléctrica, también el campo magnético producido en el núcleo de la máquina aumenta de intensidad, exactamente en el valor requerido para mantener a los elec-



A la izquierda, estructura de un betatrón. Se puede ver la sección tanto a través del núcleo del imán como a través del gran aro hueco, que es el recipiente estanco y sin aire por donde se desplazan en círculo los electrones. Los devanados de cobre están alojados en los dos grandes asientos inmediatamente al exterior del aro; los devanados más pequeños tienen sólo la función de estabilizar el campo. Los electrones son producidos por un filamento caliente de tungsteno. La rápida variación del campo magnético induce sobre ellos un campo eléctrico que los acelera siguiendo el eje hueco del aro. En la parte superior de la ilustración, la sección del aro y de la fuente de electrones. A la derecha, sección de un betatrón en el cual la variación del campo magnético permite que los electrones sigan una órbita en forma de espiral para que puedan ser extraídos a través de una fina ventana. Alternativamente, los electrones son →



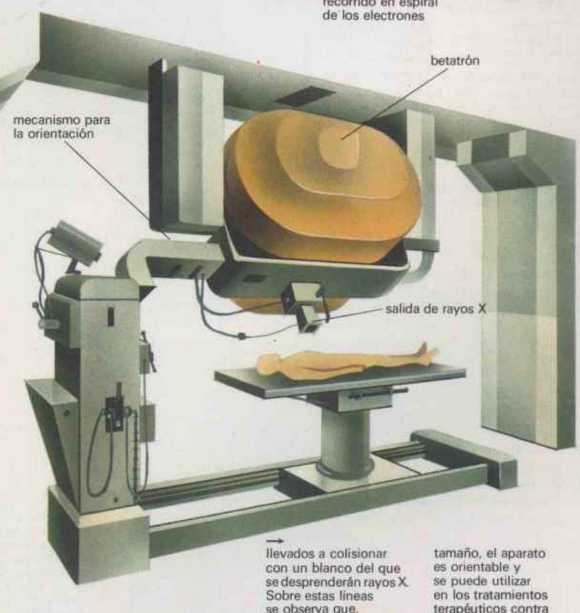


trones en una órbita circular. Por muy rápidos que se muevan los electrones, se mantendrán siempre en la misma circunferencia.

Aunque algunos betatrones pueden acelerar los electrones hasta el 99,999% de la velocidad de la luz, esta velocidad no es aún suficiente para las necesidades de los físicos nucleares; y esto ha llevado a desarrollar acelaradores más potentes que los betatrones.

Mientras tanto, el betatrón se ha vuelto un instrumento de valor inestimable en la Medicina y en la industria. Cuando los electrones alcanzan la máxima velocidad para la cual el instrumento ha sido diseñado, son lanzados contra un trozo de metal (llamado *el blanco*) en el interior de la máquina. Al chocar con el blanco, los electrones de alta velocidad producen rayos X. Cuanta más energía poseen los electrones, más potentes y penetrantes son los rayos X. Los médicos han descubierto que los rayos X de alta energía producidos por los betatrones son capaces de tratar las zonas cancerígenas en partes internas del cuerpo sin quemar la piel y de manera mucho más eficaz que los rayos X de baja energía producidos con las máquinas de rayos X normales. Además, los betatrones pueden funcionar incluso mediante conexión a la red de 380 voltios disponible en los hospitales.

Véase **Acelerador de partículas; Acelerador lineal; Electromagnetismo; Rayos X**



→ llevados a colisionar con un blanco del que se desprenderán rayos X. Sobre estas líneas se observa que, a pesar de su gran tamaño, el aparato es orientable y se puede utilizar en los tratamientos terapéuticos contra los tumores.

Bibliotecología

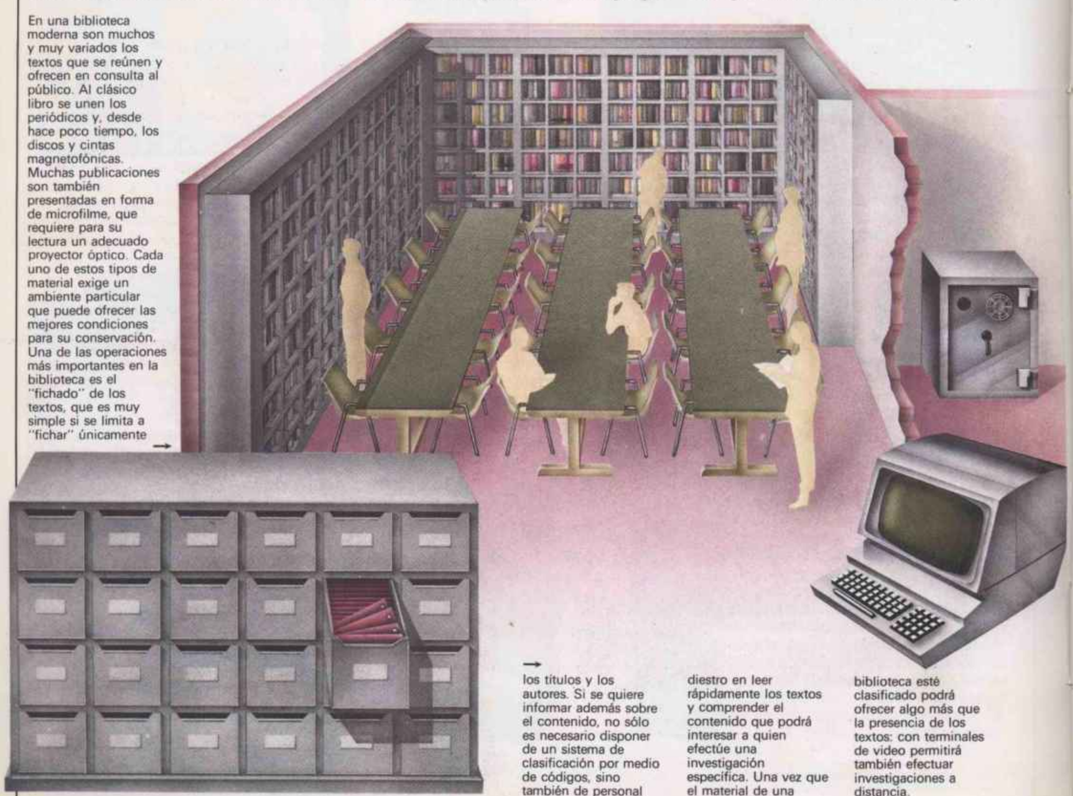
La *bibliotecología*, o *biblioteconomía*, es la ciencia que se ocupa de la conservación, ordenación y servicio de bibliotecas, entendiéndose por *biblioteca* toda colección organizada de libros, publicaciones periódicas u otros documentos cualesquiera —especialmente gráficos y audiovisuales—, así como el lugar donde dichos materiales se conservan y también los servicios de personal que organizan y catalogan los libros y los que facilitan a los usuarios la utilización de los documentos.

Algunos datos históricos Las bibliotecas más antiguas de las que se tiene noticia fueron las de Asiria y Babilonia. Así, en Nínive, la biblioteca real de Asurbanipal contaba con miles de tablillas de arcilla, de las que una parte se conserva en el Museo Británico, en Londres. En Egipto, los rollos de papiro más antiguos que se conservan corresponden a unos tres mil años antes de la Era cristiana. Ya en el siglo IV a. de C., la biblioteca de Alejandría llegó a reunir más de 200.000 papiros, convirtiéndose en el lugar obligado de consulta de todos los estudiosos del ámbito mediterráneo. La de Pérgamo, fundada dos siglos más tarde, con sus documentos en pergamino y vitela, rivalizó en importancia con la de Alejandría. Otras bibliotecas famosas, ya en nuestra Era, fueron la del Palatino, la Octaviana y la Trajana en Roma, y las cristianas que se constituyeron en Cesarea, Nipona y Antioquía. Con la invasión de los bárbaros, las bibliotecas pasaron a los monasterios, que se convirtieron desde entonces en los grandes centros de conservación, creación y difusión de la cultura y en los soportes en que ésta iba quedando recogida. Durante el dominio árabe, las bibliotecas más importantes fueron las de Córdoba y Bagdad. La invención de la imprenta, ya en el siglo XV, revolucionó el mundo de las bibliotecas, al pasarse de la producción unitaria a la edición en serie. Desde entonces, las bibliotecas reales y las universitarias tomaron el relevo en importancia a las monásticas.

Clases de bibliotecas Las bibliotecas pueden clasificarse desde muchos puntos de vista. Uno de ellos es el que adopta como criterio la amplitud del ámbito geográfico y político, clasificándose entonces en internacionales, nacionales, regionales, etc. Entre las *internacionales* destacan la de las Naciones Unidas, la de la Organización Internacional del Trabajo y la de la UNESCO.

Bibliotecas *nacionales* son aquellas que son responsables de la adquisición y conservación de ejemplares de todas las publicaciones impresas en un país, y que por ello funcionan como bibliotecas de *depósito*, aunque, además, puedan realizar otras funciones. En Europa, las bibliotecas nacionales, o centrales, se superpusieron desde el siglo XVIII a las reales, depositarias desde entonces de los respectivos fondos nacionales.

Desde otros puntos de vista, las bibliotecas se clasifican en *oficiales* o *privadas*, según que su mantenimiento corresponda o no a organismos de carácter público. También se distingue entre biblioteca de *consulta* y de *préstamo*, aunque también son frecuentes las de tipo mixto. Otra clasificación es la que distingue entre bibliotecas *generales* o enciclopédicas y las *especializadas*, en una materia concreta, en una época histórica, incluso en un perso-



En una biblioteca moderna son muchos y muy variados los textos que se reúnen y ofrecen en consulta al público. Al clásico libro se unen los periódicos y, desde hace poco tiempo, los discos y cintas magnetofónicas. Muchas publicaciones son también presentadas en forma de microfilme, que requiere para su lectura un adecuado proyector óptico. Cada uno de estos tipos de material exige un ambiente particular que puede ofrecer las mejores condiciones para su conservación. Una de las operaciones más importantes en la biblioteca es el "fichado" de los textos, que es muy simple si se limita a "fichar" únicamente → los títulos y los autores. Si se quiere informar además sobre el contenido, no sólo es necesario disponer de un sistema de clasificación por medio de códigos, sino también de personal diestro en leer rápidamente los textos y comprender el contenido que podrá interesar a quien efectúe una investigación específica. Una vez que el material de una biblioteca esté clasificado podrá ofrecer algo más que la presencia de los textos: con terminales de vídeo permitirá también efectuar investigaciones a distancia.

naje o en un género literario. Como especializadas pueden considerarse las de instituciones docentes: bibliotecas *universitarias*, centrales o departamentales, *escolares*, etc. Por último, según el tipo de documento conservado, las "bibliotecas" en sentido amplio reciben denominaciones específicas, como *filmotecas* (si conservan películas), *diapotecas* (diapositivas), *hemerotecas* (prensa, folletos, prospectos) y *archivos* (documentos, generalmente manuscritos, de carácter histórico).

Principales bibliotecas Entre las bibliotecas más importantes del mundo (por el número de volúmenes que conservan y por el valor histórico de una parte de sus fondos) destacan la Biblioteca Lenin, de Moscú, que dispone de más de 13 millones de volúmenes y un cuarto de millón de manuscritos. Le siguen en importancia la Biblioteca del Congreso, en Washington, con 11 millones de volúmenes; la de Leningrado, con 10 millones de volúmenes y la de la Academia de Ciencias de Moscú, con 8 millones.

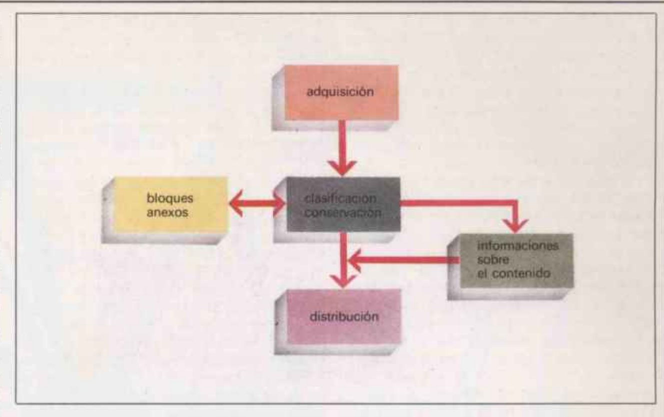
En el Reino Unido está una de las bibliotecas más renombradas del mundo, la del Museo Británico de Londres, con 6 millones de volúmenes. De un fondo similar disponen la Biblioteca Nacional de París y la de la Universidad de Yale.

La Biblioteca Nacional de España fue fundada en 1716. El rey Felipe V decretó entonces que todos los autores, impresores y editores de libros contribuyeran con una donación de dos ejemplares de cada una de sus publicaciones a los fondos de la biblioteca, que empezó denominándose Librería Real. Hoy cuenta con más de 3 millones de vólumenes, conservando también más de 50 mil incunables y ediciones raras.

Organización de los fondos bibliográficos Los fondos de una biblioteca, sea cual sea su carácter y dimensión, deben organizarse de acuerdo con un esquema lógico adecuado a sus fines y funciones.

Son varios lo sistemas que se siguen para la catalogación de los fondos. *Catalogar* es describir una obra en sus elementos principales (autor, título, editor, año de edición, impresor, tema tratado ...) de forma que pueda ser posteriormente identificada y recuperada por un usuario dentro de una colección determinada. Los datos básicos de cada documento se registran en una *ficha* o en un soporte magnético. Las fichas se disponen en ficheros, pudiendo también recogerse en un *catálogo*, que es la lista completa y sistemáticamente ordenada de una colección de libros o documentos.

La catalogación no basta que sea lógica, sino que conviene que sea homogénea, de forma que la consulta sea rápida, sencilla, completa y universal. De ahí que se realice siguiendo normativas de utilización general. Entre los sistemas más utilizados se encuentran la Clasificación Francesa o Sistema de Brunet, válido sobre todo para fondos antiguos; el Sistema de Clasificación de la Biblioteca del Congreso de Washington, que sigue una estructura en clases y subclases, en principio sin límites, utilizando una notación alfanumérica (letras y cifras); Clasificación Decimal de Dewey, en la que cada libro o documento se clasifica mediante varios dígitos, el primero de los cuales representa el área de conocimientos; Clasificación Decimal Universal (CDU), heredera de la de Dewey pero con diferencias notables; Clasificación Bibliográfica de Bliss, que partiendo de 26 grandes áreas de conocimiento, designadas por otras tantas letras mayúsculas del alfabeto, las subdivide mediante complejos cuadros sinópticos, designando sucesivamente las subdivisiones mediante letras minúsculas y números.



El esquema que presentamos evidencia los movimientos más importantes de los textos que entran en la biblioteca. De la parte superior desciende el flujo de los textos impresos. En el centro, la biblioteca que los conserva; pero esta conservación debe ir acompañada de operaciones de "fichado" que permitan al usuario encontrar la información que necesite. A la izquierda, la conservación en lugares separados. Abajo, la distribución.

Además de estos sistemas de clasificación existen otros, como el de Patentes de Invención, o la Clasificación Colonada de Ranganathan, que se utilizan para fondos muy especializados.

Las bibliotecas públicas En general, y excepto en el caso de los investigadores y profesionales, la mayoría de las personas sólo utilizan los servicios de las bibliotecas públicas o populares, generalmente pequeñas y puestas al servicio de una comunidad: local, barrio, empresa, asociación, etc. La mayoría de los gobiernos se preocupan por la extensión de este tipo de bibliotecas, por considerarlas elemento fundamental del desarrollo cultural generalizado.

Hoy día se considera que una biblioteca pública, cuyo uso ha de ser gratuito y no sujeto a ningún tipo de discriminación, ha de estar dotada no sólo de libros, revistas y periódicos, sino también de las llamadas microformas, diapositivas, discos, cintas magnéticas, así como de los aparatos necesarios para la utilización individual de este material. Además, estas bibliotecas deben actuar de animadores culturales, sobre todo en aquellos lugares donde no existan centros culturales más adecuados para ello. De ahí que se recomiende que dispongan de instalaciones para organizar exposiciones, debates, conferencias, conciertos y proyecciones cinematográficas.

En las zonas donde la población aparece muy poco concentrada, las bibliotecas populares permanentes se sustituyen por bibliotecas ambulantes y circulantes, que prestan sus fondos, visitando un mismo lugar de forma periódica. Generalmente se sirven de autobuses (bibliobus) e incluso de trenes (bibliofer o bibliotren) como vehículos para su transporte y almacenamiento.

Las bibliotecas y el ordenador La tecnología informática está revolucionando de forma creciente el mundo de la información en general, y de las bibliotecas en particular. Esta tecnología no sólo permite clasificaciones mucho más rápidas y completas, sino que facilita al usuario la consulta al poner a su alcance numerosos datos (fichas) que de forma manual sería muy difícil poder manejar. Además, al volcar progresivamente el fondo documental en bases de datos informatizadas, se hace posible la consulta desde terminales personales o institucionales remotos a cualquier otra base con la que exista posibilidad y acuerdo de conexión y uso de la información.

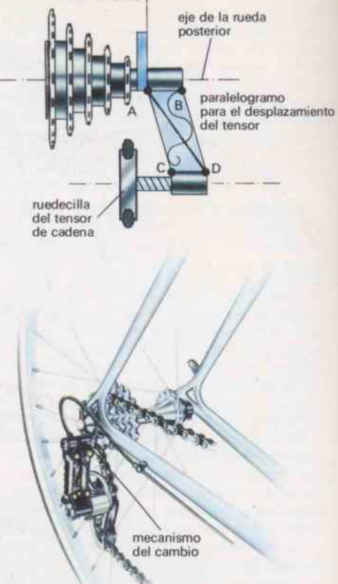
Véase **Archivo de datos; Banco de datos; Datos, base de**

Bicicleta

La *bicicleta* (del latín *bi*, "dos", y del griego *kyklos*, "círculo o rueda") es un vehículo accionado por fuerza humana que consta esencialmente de un cuadro, resistente y ligero, y dos ruedas de radios (la anterior, directriz, y motriz la posterior), y que durante la marcha se mantiene en posición vertical por el efecto giroscópico de aquéllas.

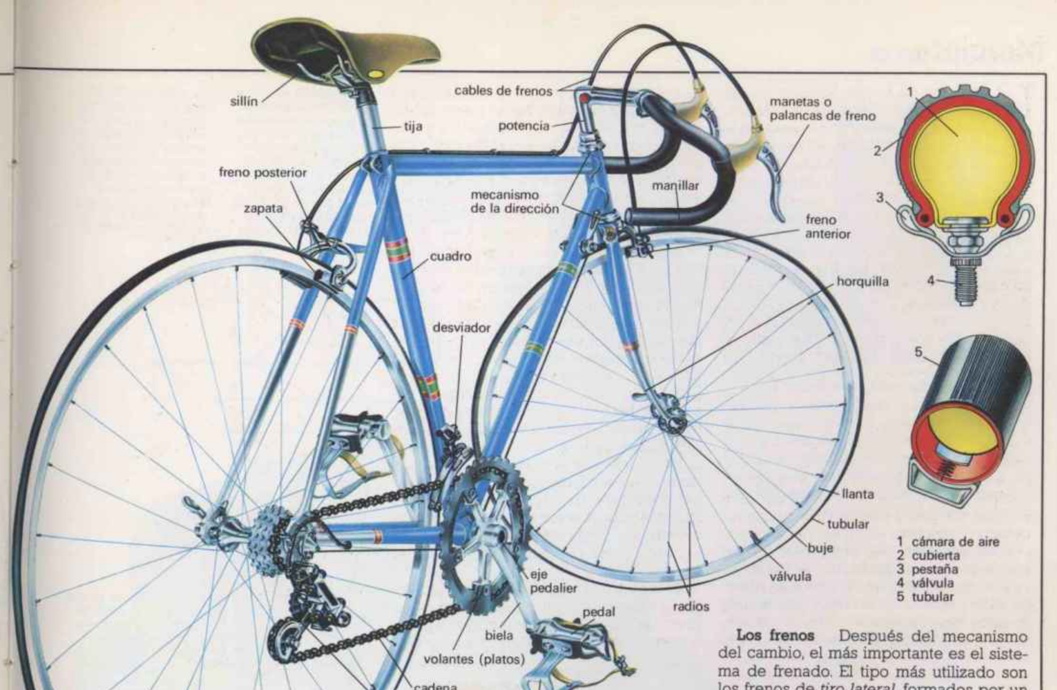
El precursor de la bicicleta fue el vehículo inventado por los franceses Blanchard y Magurier en 1780, que constaba de dos ruedas fijas y que era impulsado por el conductor apoyando sus pies alternativamente sobre el suelo. Este vehículo fue perfeccionado más tarde por Carl Drais con su *draisina*, de una estructura más ligera y una dirección más estable, aunque aún sin pedales. Fue el escocés Kirkpatrick Macmillan, considerado el inventor de la bicicleta, el primero que construyó, en 1839, un vehículo de este tipo accionado por pedales, que iban unidos por manivelas a la rueda posterior, y provisto de guía y asiento (biciclo). Se sucedieron muchos sistemas de accionamiento, pero el más importante fue el aportado por los hermanos Michaux en 1860, quienes colocaron los pedales directamente sobre la rueda delantera de una máquina tipo draisina. Durante la década de 1870 se desarrolló un velocípedo, antecesor de las primeras bicicletas, cuyo diseño comprendía una gran rueda delantera de más de 125 cm de diámetro y otra rueda trasera de unos 60 cm. El cuadro era un tubo metálico en cuya parte alta se montaba el sillín sobre la rueda delantera y muy cerca del manillar. La última mejora importante introducida en la bicicleta tuvo lugar en 1888, cuando John Boyd Dundlop, un veterinario de Belfast, inventó el neumático de aire a presión. Esto representó una gran mejora en lo concerniente al confort y a la velocidad y ayudó a hacer del ciclismo el deporte popular que es hoy en día. Estos biciclos fueron perfeccionándose cada vez más con la aplicación de llantas de goma maciza, frenos y una gama de accesorios que comprendía desde lámparas y bolsas de viaje hasta cuentakilómetros y timbres que avisaban la presencia del ciclista. La bicicleta en su forma actual aparece poco más tarde con tres innovaciones fundamentales: ruedas de igual tamaño provistas de radios, accionamiento por transmisión de cadena a la rueda trasera y cuadro construido de tubos de acero.

El cuadro El cuadro forma la estructura esencial de la bicicleta. Se fabrica en acero de alta calidad o aleaciones ligeras, fuertes y de gran resistencia a la corro-



Arriba, a la izquierda, un piñón posterior abierto muestra el mecanismo de salida de la rueda libre. A su derecha, las piezas que forman la cadena.

Sobre estas líneas se ve el eje posterior de la rueda de la bicicleta con un cambio de cinco desarrollos. La cadena pasa por la ruedecilla central del piñón posterior y baja por el tensor hasta la ruedecilla de vuelta, cuyo desplazamiento mandará, bajo la acción del ciclista, su movimiento sobre la ruedecilla de otro desarrollo. Paralelo al tubo del cuadro corre el cable metálico, que transmite el movimiento de mando del cambio. Arriba, sobre lo anterior, vista frontal de las ruedecillas del cambio, el paralelogramo que permite el desplazamiento del tensor manteniéndolo siempre paralelo a las coronas del piñón. A la izquierda de estas líneas, arriba, la cadena en tres posiciones distintas del piñón posterior: la primera posición, para carrera veloz; la segunda, para llano; y la tercera, para subida. Debajo, el mecanismo de ruedecillas que impide a la cadena salirse y descarrilar del piñón mientras el cambio la desplaza para moverla lateralmente. En el ángulo inferior izquierdo, los dos volantes o platos que, combinándolos con el piñón posterior, permiten al ciclista un mayor aprovechamiento de su fuerza, utilizando el plato pequeño en subidas y el plato grande en llanos o bajadas. El mecanismo de desplazamiento de la cadena funciona de la misma manera en los platos y en el piñón de coronas. En la página siguiente, una moderna bicicleta de carreras realizada en titanio, muy ligera. La mayor parte del peso está concentrada en el cuadro, los órganos del movimiento y el sillín. Las ruedas y los frenos sólo pesan algunos cientos de gramos. Las ruedas, para permitir el cambio rápido de los neumáticos en caso de pinchazos, se pueden separar con facilidad del cuadro con sólo aflojar el eje de los bujes. A la derecha, sección de un neumático de cámara y cubierta, y debajo, de un tubular para competición.



sión. Está formado por dos triángulos y un trapecio; los dos triángulos son paralelos y mantienen la rueda posterior en posición correcta, y el trapecio forma el cuerpo de la bicicleta entre las ruedas. La rueda delantera está sostenida por una horquilla articulada. El diseño de los cuadros ha ido evolucionando hacia formas cada vez más aerodinámicas, para mejor aprovechamiento del esfuerzo del ciclista.

El cambio El cambio es el órgano funcional ingeniado para la multiplicación y dosificación de la fuerza del ciclista, quien se sirve para ello de dos engranajes fundamentales: el piñón posterior o piñón de coronas y los volantes o platos. Los platos quedan localizados en el ángulo inferior del trapecio y están fijados al eje pedalier. El piñón posterior está localizado en el eje de la rueda trasera. Estos engranajes están unidos entre sí por medio de una cadena que gira introduciéndose entre los dientes de los piñones. Cuando el plato gira, empuja hacia adelante la cadena, que a su vez crea un empuje sobre el piñón posterior, y en consecuencia la rueda trasera girará también. Este movimiento de la rueda trasera hace que la bicicleta avance. La rueda delantera está libre de engranajes y gira impulsada por el cuadro como consecuencia del empuje de la rueda trasera. La fijación del conjunto potencia-manillar al tubo de la horquilla se realiza por medio del tornillo-cono expansor que constituye básicamente el sistema de dirección de una bicicleta.

Una bicicleta de diez desarrollos tiene cinco coronas posteriores y dos platos, uno grande y otro pequeño. Si la cadena está en el plato mayor y en el piñón más pequeño, el ciclista está usando el desarrollo más grande; en esta "marcha" empuja la mayor porción de cadena que permite el sistema. Como resultado, el ciclista tiene que ejercer la máxima cantidad de energía posible para cada giro de los pedales.

El mecanismo para hacer pasar la cadena de un engranaje a otro se llama *cambio*. El cambio está compuesto por dos piezas: el *desviador*, fijado al cuadro por encima de los platos, y que se mueve lateralmente; y el *cambio propiamente dicho*, fijado al cuadro en el eje de la rueda posterior y formado por dos discos dentados unidos entre sí y un sistema de muelles, oscilando también lateralmente. Estas dos piezas están unidas por medio de dos cables metálicos a sendas palancas a ambos lados del cuadro. El sistema de muelles del cambio hace que la cadena siempre esté tensa, cualquiera que sea la relación utilizada.

Los frenos Después del mecanismo del cambio, el más importante es el sistema de frenado. El tipo más utilizado son los frenos de *tiro lateral*, formados por un puente con forma de herradura con dos *zapatas* que actúan sobre la llanta, ejerciendo una presión uniforme sobre ésta. Los frenos están unidos por medio de cables a unas palancas colocadas sobre el manillar. Las palancas izquierda y derecha sirven para activar, respectivamente, el freno delantero y el trasero.

Cuando un ciclista acciona una palanca, el cable correspondiente se tensa, acercando progresivamente las zapatas a la llanta de la rueda. Cuando las zapatas fijadas a los extremos del freno encuentran la llanta, crean una fricción suficiente para frenar la bicicleta.

Las ruedas Las ruedas de una bicicleta están formadas por tres componentes: las *llantas*, los *radios* y los *carretes* o *bujes*. La llanta es metálica (duraluminio). Los bujes constituyen un mecanismo situado en el centro de la rueda al que se fijan los radios y cuyo eje permite quitar la rueda en unos segundos girando 180 grados una pequeña palanca. Entre la llanta y los bujes están los radios de acero, cuyo número suele ser de 32 ó 36 en cada rueda.

Neumáticos Los hay de dos tipos: los de cámara y cubierta, y los tubulares. Los primeros se introducen en la llanta a la que quedan fijados por medio de una "pestaña", mientras que los tubulares se superponen a la llanta, quedando adheridos a esta gracias a un pegamento especial. Estos últimos son los usados en competición.

Binoculares

Los binoculares (o prismáticos) son en realidad un par de anteojos montados uno junto al otro. La gran ventaja que ofrecen es que un ingenioso sistema de prismas dispuestos en el interior de cada uno de los anteojos permite utilizar un tubo más corto que el de los catalejos convencionales; además, el uso de dos lentes produce una imagen mucho más parecida a la que vemos a simple vista.

En su forma más elemental, un anteojo está constituido de dos partes principales: una lente que sirve como *objetivo* (la más grande), que se encuentra en el extremo del tubo más alejado del observador, y otra lente que sirve como *ocular*, colocada en el extremo más próximo al ojo. Cada uno de los dos anteojos de un prismático está construido de esa forma, con la diferencia de que la luz que entra por el objetivo no llega directamente al ocular en una trayectoria rectilínea, sino que es reflejada cierto número de veces por los prismas antes de alcanzar el ojo.

Funcionamiento de los prismas El tipo de prisma utilizado en un binocular puede ser imaginado como medio cubo de vidrio óptico de la mejor calidad, resultante de seccionar un cubo por el plano que une las diagonales de dos caras opuestas. Conocido como *prisma de 90 grados*, este cuerpo tiene, en consecuencia, dos caras cuadradas e iguales perpendiculares entre sí, una tercera cara, más larga que ancha, cuyas bases son las hipotenusas de los triángulos rectángulos que forman la cara superior e inferior. Llamaremos a las tres primeras caras mencionadas: *a*, *b* (las dos caras iguales perpendiculares entre sí) y *c* (la que une ambas).

Imaginemos un prisma de este tipo dispuesto de forma que un rayo de luz entre a través de la cara *c* perpendicularmente a ella, a una distancia de uno de sus lados de aproximadamente un cuarto de la longitud total de la cara. El rayo de luz, desplazándose en línea recta, golpea la cara *a*, desde donde es reflejado con una desviación de 90 grados hacia la cara *b*, donde experimenta nuevamente una reflexión con un ángulo de 90 grados, saliendo del prisma en dirección paralela a la que tenía cuando incidió.

En un binocular se monta un segundo prisma, de modo tal que su cara *c'* forme con la cara *c* del primer prisma un ángulo recto, lo que significa que el rayo de luz reflejado por la cara *b* del primer prisma se refleja nuevamente sobre una de las caras iguales (*a'* o *b'*) del segundo prisma y luego sobre la otra, para, a continuación, atravesar la cara *c'* del segundo prisma hacia el ocular.

En un binocular, cada una de las dos partes contiene un sistema de prismas de este tipo; un instrumento construido de esta forma ofrece mayores ventajas que el instrumento sin prismas. Dirigiendo adecuadamente el rayo de luz que forma la imagen percibida por el ojo, los prismas hacen que no sea necesario limitar la distancia entre los dos objetivos a la existente entre los centros de los ojos. El resultado de este alejamiento de los objetivos es el aumento del efecto estereoscópico de las imágenes que entran separadamente en los dos objetivos. En la práctica, esto significa que el observador tiene un sentido mucho mayor de la profundidad de la imagen. Otra ventaja es que de esa manera el cuerpo del instrumento puede ser mucho más corto y compacto que si fuese recto, ya que el rayo de luz es reflejado lateralmente hacia atrás y luego de nuevo lateralmente, antes de llegar, finalmente, reflejado en el ocular, en vez de realizar un recorrido en línea recta mucho más largo.

Pero la mayor ventaja de los prismas acoplados está en el hecho de que un sistema ordinario de lentes devuelve una imagen invertida, mientras que cuando la imagen atraviesa una pareja de prismas montados en ángulo recto, llega al ojo en la posición correcta.

Aumento y enfoque Cuando se observa un objeto distante —por ejemplo, una casa— a través de unos binoculares, parece que las lentes aproximaran la casa. Obviamente, ello no ocurre; lo que pasa es que como cuanto más lejos está la casa nos parece más pequeña, al ver que la imagen de la casa aumenta se tiene la impresión de que está más cerca.

Si examinamos unos prismáticos, podemos observar una numeración —algo así como 7 por 50, por ejemplo—: esto significa que los binoculares aumentan la imagen siete veces y que el diámetro de la

a b c

A la izquierda, recorrido de un rayo de luz en un prisma de reflexión total. El rayo de luz se refleja dos veces en las caras internas del prisma y experimenta una desviación de 180 grados. Abajo, la combinación de dos de estos prismas empleada en los binoculares. La utilización de dos prismas parcialmente sobrepuestos permite el desplazamiento del rayo paralelamente a la dirección de origen, prolongando la trayectoria.

a b c' c b' a'

Bajo estas líneas, esquema óptico completo de los binoculares con las lentes-objetivo dirigidas hacia el exterior, los prismas, y las lentes-ocular. Los prismas, que aumentan la trayectoria de la luz en el interior de los binoculares, permiten que el artefacto resulte más compacto sin perder por ello capacidad de aumento.

distancia interpupilar

distancia de los ejes ópticos

En el esquema de abajo se ilustra la ventaja de los prismáticos sobre los anteojos, debido a la visión binocular que se tiene con el primer instrumento. Como se puede apreciar, la visión binocular permite percibir el relieve de los objetos.

El acoplamiento de dos anteojos, tal como se da en los binoculares, permite una visión conocida como *visión estereoscópica*, con la cual se puede percibir la profundidad de los objetos circundantes y tener una visión más descansada que con un anteojo único.

efecto estereoscópico

A la derecha, los oculares de unos prismáticos, uno de ellos abierto para hacer visible el sistema formado por dos lentes. Tal conjunto es regulable para poder permitir el enfoque. Estas lentes no deben corregir la imagen, pues tal función la cumplen ya los prismas que observamos en la página anterior. Para efectuar el enfoque se actúa sobre la rueda central, haciéndola girar en uno u otro sentido hasta que la visión sea nítida.



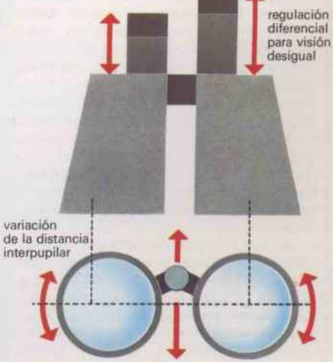
sección del ocular y mecanismo de enfoque

lente del objetivo es de 50 milímetros.

Los prismáticos pueden ser enfocados haciendo girar un pequeño dispositivo en forma de rueda que se encuentra sobre el puente que une los dos anteojos; esta acción permite alargar o acortar conjuntamente los dos tubos en el mismo intervalo. Puesto que, frecuentemente, los ojos del observador no funcionan igualmente bien, usualmente el ocular derecho es regulable. Así, se puede llevar a cabo el enfoque, primero, con el ojo izquierdo únicamente, y después regular el ocular derecho de forma que se corrija la diferencia de visión entre los dos ojos. El puente entre los dos anteojos se encuentra también dispuesto de modo que la distancia entre ambos pueda ser variada

Véase **Lente**

Como vemos arriba, los binoculares están constituidos por un par de anteojos montados uno junto al otro, con la diferencia de que, debido a la existencia de los prismas, vemos la imagen derecha. Los prismas, además, prolongan el recorrido del rayo sin necesidad de alargar el instrumento y hacen que la distancia entre los objetivos sea bastante mayor que la que existe entre los oculares, aumentando así el efecto estereoscópico. Una ruedecilla regula el enfoque; además, la eventual diferencia de visión entre los dos ojos puede ser anulada regulando el ocular derecho. También la distancia entre los dos oculares puede variarse a discreción. El aumento que se puede conseguir con unos prismáticos de este tipo va de seis a veinte veces. Cuando el aumento es grande, se incrementa también la vibración de la imagen a causa del movimiento de las manos que regulan el instrumento, y aumenta asimismo la debilidad de la imagen, pues se distribuye sobre una mayor área la misma cantidad de luz y disminuye el campo visual.



Bioelectricidad

En 1848 el fisiólogo alemán Emil Du Bois-Reymond conectó un electrodo a la parte interna y otro a la parte externa de una fibra muscular seccionada y, por medio de un galvanómetro, pudo detectar que una débil corriente eléctrica fluía entre ambos electrodos. Así se descubrió la *bioelectricidad*. Los estudios sobre este fenómeno pretenden aclarar cómo se genera y se propaga la bioelectricidad en las células y los tejidos de los seres vivos.

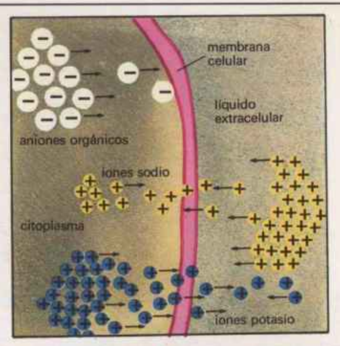
Como ya sugerían los experimentos pioneros de Luigi Galvani en 1971, la bioelectricidad está en la base del mecanismo de la contracción muscular y de la transmisión de los impulsos nerviosos. Además, algunos organismos con capaces de producir potenciales eléctricos tan elevados que pueden aturdir e incluso matar a sus presas con ellos.

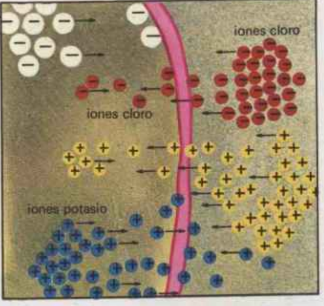
El potencial de membrana En todos los seres vivos las células actúan como minúsculas baterías capaces de almacenar establemente cargas eléctricas y de generar así una diferencia de potencial entre el exterior y el interior de la membrana.

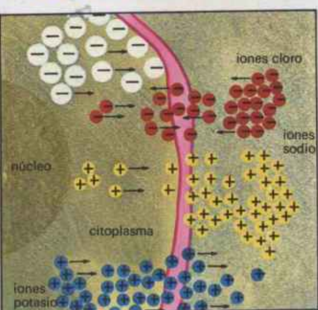
Se conocen dos formas de potencial de membrana: el potencial de reposo y el potencial de acción. El potencial de reposo es siempre negativo y su magnitud oscila entre −50 y −100 milivoltios. El valor del potencial de reposo es muy similar en células muy distintas o de especies diferentes: en una célula nerviosa de calamar (especie predilecta en los estudios de bioelectricidad por las grandes dimensiones de sus fibras nerviosas) es prácticamente el mismo que en una célula nerviosa humana.

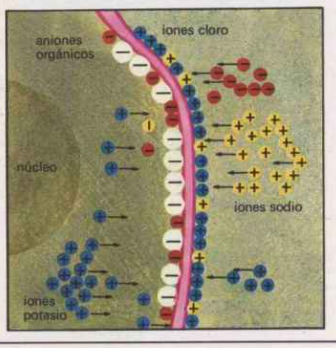
El origen del potencial de reposo se debe al comportamiento de la *membrana celular*, finísima película que envuelve el citoplasma de cada célula separándolo del medio externo. Las membranas celulares son *permeables*, permitiendo el paso a su través de moléculas cargadas (iones). Se trata, sin embargo, de una *permeabilidad selectiva*, ya que no todas las moléculas pueden atravesar la membrana y muchas pueden atravesarla en un sentido, pero no en el contrario. Además, se trata de una *permeabilidad variable*, ya que muchas sustancias pueden atravesar la membrana en ciertos momentos, pero no en otros.

La producción del potencial de reposo El citoplasma es rico en iones potasio, cada uno de los cuales aporta una carga positiva, y en moléculas de proteína, grandes y complejas, cargadas negativamente. El líquido extracelular es rico en iones sodio, cada uno de los cuales lleva una carga positiva. La membrana celular permite el paso hacia el exterior de iones potasio, pero no permite la salida de moléculas de proteína ni la entrada de iones sodio; el resultado es que el interior de la membrana queda cargado negativamente respecto del exterior.









Transporte de iones a través de la membrana plasmática. Los iones cargados negativamente, o aniones, se representan en blanco (aniones orgánicos) y en rojo (iones cloro); los iones cargados positivamente, o cationes, se representan en amarillo (sodio) y en azul (potasio). Los aniones orgánicos no pueden salir de la célula ni los de sodio entrar a la célula, lo que acaba provocando que el interior de la membrana quede con una carga negativa respecto del exterior.

La membrana cumple la mencionada función con extraordinaria eficacia: aunque sólo tiene un espesor de 100 Å (amstrongs), puede soportar una diferencia de potencial de 100 milivoltios, lo que traducido a unidades más familiares representa un campo eléctrico de cien mil voltios por centímetro.

Del potencial de reposo al potencial de acción Los estudios que llevaron a la descripción del potencial de acción, en base a modificaciones secuenciales de la permeabilidad de la membrana a los iones sodio y potasio, fueron realizados entre 1950 y 1952 por el inglés Huxley y el estadounidense Hodking.

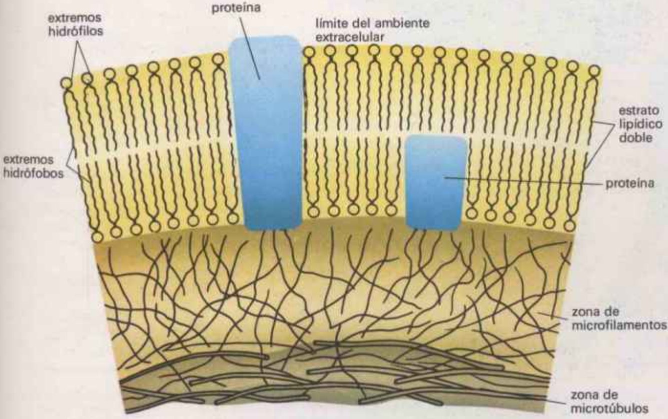
El potencial de acción es un cambio brusco de la diferencia de potencial entre el interior y el exterior de las células musculares y nerviosas. Cuando un agente excita a la célula, la membrana se vuelve, transitoriamente, permeable a los iones sodio, de modo que durante unos milisegundos los iones sodio entran en la célula desde el exterior, despolarizando esa zona de la membrana. La célula restablece su carga negativa con igual rapidez. El resultado de esta variación, brusca y localizada, de potencial es un impulso que recorre la membrana de la célula excitada. Si el impulso es lo suficientemente fuerte, pueden desencadenarse potenciales de acción en las células adyacentes, y así la información se transmite por el cuerpo bajo forma de impulsos eléctricos.

Por el mecanismo descrito, las células de los receptores sensoriales convierten los estímulos ambientales en impulsos eléctricos que viajan a lo largo de la célula hasta alcanzar el sistema nervioso central y el cerebro. Del mismo modo, aunque viajando en sentido inverso, los impulsos provenientes del cerebro provocan la contracción de los músculos, la secreción de las glándulas o regulan los latidos del corazón.

El hecho de que en algunos órganos, como el corazón y el cerebro, se generen corrientes, débiles pero específicas, tiene importantes consecuencias prácticas: esas corrientes pueden medirse y registrarse bajo forma de electroencefalogramas o electrocardiogramas, que se utilizarán para diagnósticos médicos.

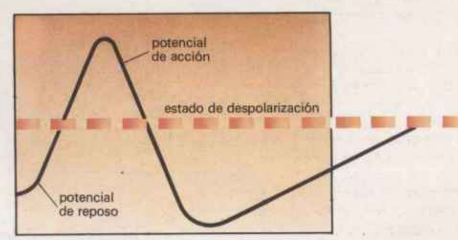
Véase **Electrocardiograma; Electroencefalograma**

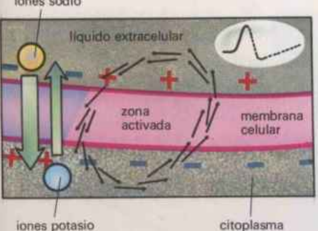
axón conductor
membrana
conductor interno de cobre
material aislante
conductor externo de cobre

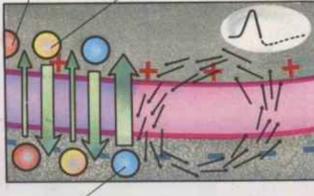


En la parte superior, esquema comparativo de un hilo de cobre empleado para conducir electricidad y un axón, o prolongación de las células nerviosas, por el que viajan los impulsos nerviosos. A la izquierda, esquema de la estructura de la membrana plasmática, que consta de una bicapa lipídica, con los extremos hidrófilos hacia el exterior y los hidrófobos hacia el interior, en la cual flotan las proteínas de la membrana. Entre la membrana y el citoplasma se encuentran una serie de microfilamentos y microtúbulos que controlan la distribución de las proteínas en la membrana.

A la derecha, esquema de la forma de la variación del potencial de membrana durante un impulso nervioso. El potencial de reposo es de unos −70 milivoltios; la entrada de iones sodio hace que suba hasta unos +30 milivoltios, que corresponde al máximo de la curva; luego vuelve a bajar, incluso por debajo de −70 milivoltios y finalmente retorna a su valor inicial. En el eje horizontal se representa el tiempo y en el vertical la diferencia de potencial entre el interior y el exterior de la membrana. La línea de trazos indica un potencial de 0 milivoltios, es decir, el estado de despolarización de la membrana.







iones sodio
iones cloro
zona activada

Sobre estas líneas, secuencia esquemática de la propagación del impulso nervioso. En el dibujo de la izquierda, el impulso nace al volverse la membrana repentinamente permeable a los iones sodio, que entran al citoplasma, provocando que la carga inicialmente negativa del interior de la membrana se vuelva transitoriamente positiva. Las flechas negras indican el sentido de circulación de los iones a través de la membrana. En el central, las cargas positivas vuelven al exterior, desplazándose la membrana. En el de la derecha, el potencial de membrana vuelve a su valor negativo.

Bioenergética

O$_2$
GLUCOSA
$C_6H_{12}O_6$
O$_2$
RESPIRACION
ALIMENTACION
CO_2
H_2O
ENERGIA
ADP
fosfato
ATP
TRABAJO CELULAR
CELULA
mecánico y térmico
químico
osmótico
eléctrico

La fotosíntesis permite a las plantas transformar la energía solar en energía química, fijando al mismo tiempo el dióxido de carbono, que es transformado en compuestos orgánicos hidrocarbonatados. Como consecuencia de la fotosíntesis, se produce también desprendimiento de oxígeno, producido en la fotolisis del agua.

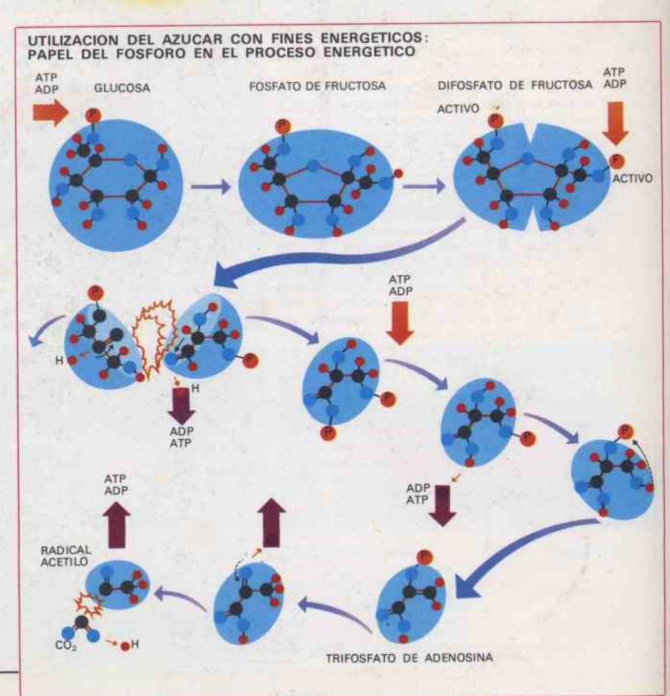
El mundo animal, a su vez, usufructúa elementos sintetizados por los seres autótrofos y, con la intervención del oxígeno (respiración) se produce energía vital. Las transferencias energéticas (abajo) son posibles gracias a la intervención de un tipo particular de moléculas, ATP, acumuladores de energía, y a las del ADP.

Una hoja, una luciérnaga y una anguila eléctrica son un buen ejemplo de cómo los organismos vivos son capaces de transformar, una en otra, diversas formas de energía. La hoja transforma la energía luminosa del Sol en energía química, que es almacenada en sus tejidos. La luciérnaga convierte la energía química contenida en sus moléculas de estructura compleja en energía luminosa, como bien puede verse paseando por el campo en una noche de verano. La anguila eléctrica (*Electrophorus electricus*, Gimnótidos) del río Amazonas, en cambio, transforma la energía química en energía eléctrica de elevado voltaje, lo que le permite infligir una peligrosa sacudida a quien la moleste. La propia vida sería imposible en ausencia de un continuo flujo de energía en el interior de la biosfera y de los propios organismos que la integran.

La vida y las leyes de la termodinámica
Las leyes que gobiernan el "comportamiento" de la energía pueden aplicarse tanto a las sustancias inertes como a los organismos vivos, aun cuando sólo estos últimos son objeto de estudio por la Bioenergética. Las principales entre éstas son las leyes de la termodinámica, que tratan de las relaciones existentes entre energía, trabajo y calor (entendidos, naturalmente, como magnitudes físicas).

La *primera ley* de la termodinámica establece que todo cambio de energía en un sistema es igual a la energía total que entra en él menos la que sale. De hecho, los organismos vivos crecen cuando están capacitados para almacenar energía en mayor cantidad de la que gastan.

La *segunda ley* de la termodinámica establece que la energía tiende a aumentar su grado de desorden, reduciendo en consecuencia su aptitud para ser convertida en trabajo. El concepto de "grado de



1 molécula de azúcar ($C_6H_{12}O_6$)
oxígeno (6 moléculas de O_2)
dióxido de carbono (6 moléculas de CO_2)
agua (6 moléculas de H_2O)
COMBUSTION energía

azúcar
2 moléculas de alcohol etílico
dióxido de carbono
FERMENTACION energía

1 molécula de azúcar ($C_6H_{12}O_6$)
2 moléculas de tres átomos de carbono
energía
energía
CO_2 (dióxido de carbono)
2 moléculas de dos átomos de carbono
(combinándose con oxígeno)
dióxido de carbono (4 moléculas de CO_2)
RESPIRACION energía
agua (6 moléculas de H_2O)

En el cuadro superior, a la izquierda, combustión de una molécula de azúcar, con liberación total e inmediata de energía (flecha roja); a la derecha, el proceso de respiración, que permite una liberación fraccionada de esta energía: la molécula de azúcar se escinde en moléculas más simples y libera parte de la energía; de estas moléculas, unas liberan dióxido de carbono y más energía, y otras se combinan con oxígeno y liberan energía gradualmente. Más abajo y a la izquierda, otra modalidad de reacción de este tipo: se trata de la fermentación alcohólica.

desorden" es indicado por los físicos con el término *entropía*.

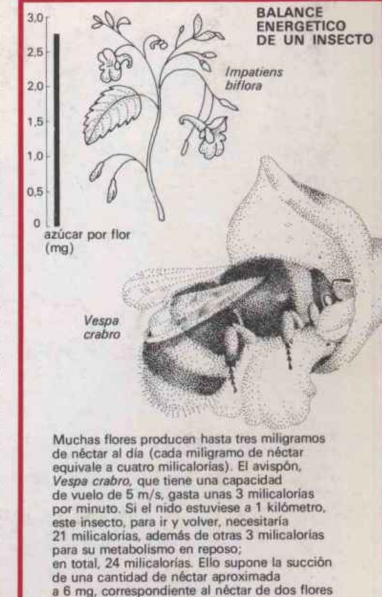
Como consecuencia de la segunda ley de la termodinámica, se deduce que en los diferentes cambios de un sistema la entropía total del mismo tiende a aumentar. La perpetuación de la vida requiere el mantenimiento de lo que podríamos llamar "orden energético", y todas las transformaciones del metabolismo celular tienen por objeto la consecución de la energía para los procesos biológicos y el mantenimiento del orden celular (la célula invierte energía en conseguir orden).

Bioenergética de los organismos individuales El estudio bioenergético de los organismos individuales permite arrojar luz sobre los procesos metabólicos fundamentales en el mantenimiento de la vida.

La *fotosíntesis*, fenómeno que se desarrolla principalmente en las plantas verdes, es el proceso a través del cual la energía solar se convierte en energía química y en la materia viviente que proporciona nutrientes a las mismas plantas y, a través del consumo de éstas, a todas las restantes formas de vida. La energía de la luz que incide sobre las hojas de las plantas es capturada por los pigmentos fotosintéticos (clorofilas y carotenoides), y, por medio de una compleja serie de reacciones, es almacenada en forma de moléculas ricoenergéticas, como el $NADH_2$ o el trifosfato de adenosina (ATP), sustancia ésta que desempeña un papel de primerísimo orden en los procesos energéticos de los organismos. Dicha sustancia está presente en todos los seres vivos y la energía se almacena en ella en forma de energía química de enlace. Al romperse la molécula de ATP, libera energía, que es utilizada, en el caso de las plantas, en la construcción de moléculas orgánicas más complejas, como la glucosa, sustancia básica tanto en el metabolismo energético de las propias plantas como de los animales (éstos aprovechan la energía contenida en la glucosa o en otras moléculas más complejas para realizar diversas funciones vitales, como el crecimiento, la construcción del tejido muscular o la conducción de los impulsos nerviosos).

De tal modo, más o menos directamente, la energía suministrada por el Sol sirve para alimentar cualquier proceso bioenergético.

Véase **Bioelectricidad; Bioluminiscencia; Fotosíntesis; Metabolismo**



Muchas flores producen hasta tres miligramos de néctar al día (cada miligramo de néctar equivale a cuatro milicalorías). El avispón, *Vespa crabro*, que tiene una capacidad de vuelo de 5 m/s, gasta unas 3 milicalorías por minuto. Si el nido estuviese a 1 kilómetro, este insecto, para ir y volver, necesitaría 21 milicalorías, además de otras 3 milicalorías para su metabolismo en reposo; en total, 24 milicalorías. Ello supone la succión de una cantidad de néctar aproximada a 6 mg, correspondiente al néctar de dos flores de *Impatiens biflora*.

Biogás

El término "*biogás*" es la denominación bastante reciente de un producto tan antiguo como las zonas pantanosas, la leña o el ganado. Su componente fundamental es el metano, gas inodoro e incoloro, que cuando, mezclado con otros gases, se extrae del subsuelo se le denomina *gas natural;* cuando asciende en forma de neblina sobre zonas pantanosas cálidas, se le llama *gas de los pantanos,* y cuando se produce a partir de la descomposición controlada de vegetales y animales, se le llama *biogás.* Independientemente del nombre que reciba, es un combustible económico, seguro y muy útil.

Como componente principal del gas natural, el metano se encuentra en la Naturaleza en grandes cantidades, si bien la crisis energética hace aumentar cada día más su precio. En cambio, el metano procedente de la descomposición biológica de residuos orgánicos es un combustible de fácil obtención y económico, idóneo para ser usado en las zonas rurales donde se puede disponer fácilmente de los materiales de partida para su obtención. Además, a diferencia del gas natural, cuya formación sólo es posible después de largos períodos geológicos de transformaciones geoquímicas, el biogás es un combustible rápidamente renovable. Aunque en la actualidad su producción es a pequeña escala, la crisis del petróleo le ha convertido en una alternativa interesante a los otros combustibles más caros.

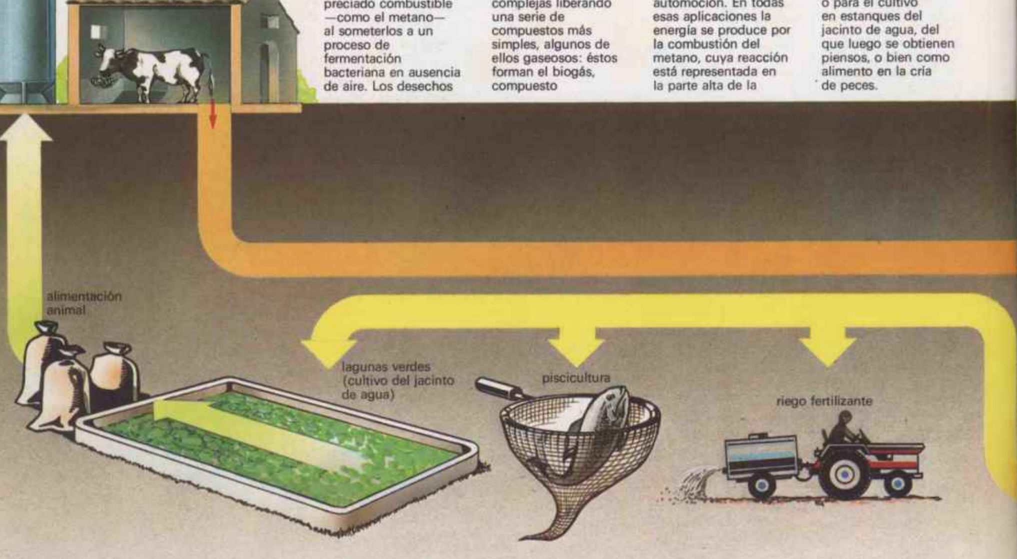
Para la obtención del biogás en unidades de producción doméstica, se dejan descomponer en un ambiente *anaeróbico* (sin oxígeno) los residuos orgánicos como el estiércol animal o los productos de desecho de los vegetales. En esas condiciones, las bacterias productoras de metano llevan a cabo la conversión de los productos resultantes de la descomposición de los residuos orgánicos, liberando una mezcla de gases formada por metano, dióxido de carbono y pequeñas cantidades de hidrógeno, ácido sulfhídrico y nitrógeno.

El componente metano Cualquier gas natural tiene del orden del 50% al 90% de metano, mientras que el biogás tiene solamente entre un 55-65%; sin embargo, el tener bajo coste de producción y generar aproximadamente 7.000 kcal/kg le hacen ser uno de los combustibles, entre los procedentes de la descomposición de biomasa, de mayor rendimiento calórico.

Una instalación para producción de biogás a pequeña escala puede construirse en cualquier explotación agrícola; este tipo de instalaciones pequeñas se utiliza cada vez más en India, China, Corea, Taiwan, Filipinas y, en menor escala, en Estados Unidos y Europa. Una instalación tipo está formada por una unidad de mezcla, un digestor, un gasómetro y algunos elementos auxiliares. Su funcionamiento es el siguiente: el estiércol —generalmente de vacas, cerdos o cualquier otro tipo de ganado— se almacena en la unidad de mezcla, especie de cuba de desechos que suele situarse cerca del granero o del establo; allí se va acumulando hasta que adquiere una consistencia líquida pastosa, momento en el que es trasvasado mediante un tubo al digestor, que suele ser un depósito de dimensiones 1 m por 2 m y una profundidad de unos 1,7 m. En este depósito se agita el estiércol con un mecanismo de manivela para facilitar la distribución uniforme de las bacterias en la mezcla.

La producción del metano Cuando la mezcla alcanza la temperatura adecuada (entre 30 y 40 °C), las bacterias trabajan de forma eficaz, degradando el material originario a través de fases complejas y transformándolo en compuestos solubles y en ácidos orgánicos. Estos ácidos orgánicos son utilizados por las bacterias productoras de metano, gas que se forma como resultado del metabolismo anaeróbico de aquellas. Puesto que es más ligero que el aire, sube a la superficie del digestor y es almacenado en el gasómetro. Es muy importante que en el digestor haya una ausencia absoluta de oxígeno.

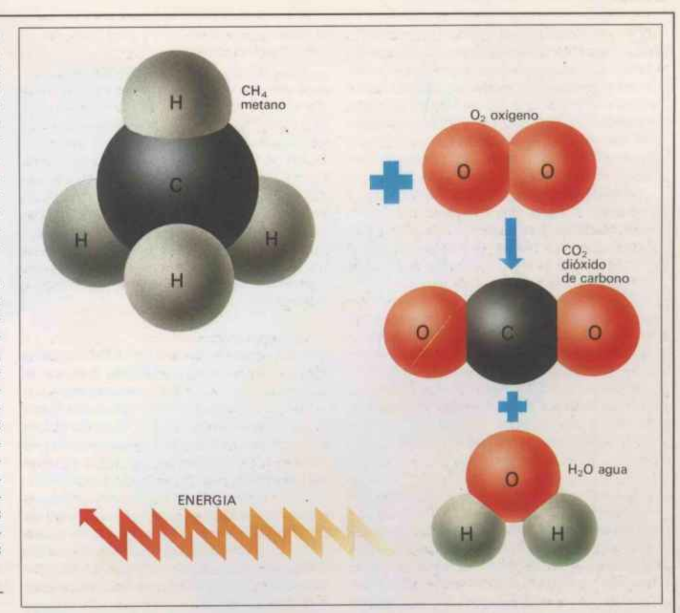
Los desechos biológicos (deyecciones) producidos por los animales (vacas, cerdos, ovejas, gallinas, etc.) se pueden convertir en un preciado combustible —como el metano— al someterlos a un proceso de fermentación bacteriana en ausencia de aire. Los desechos se envían a un digestor, donde son metabolizados por determinadas bacterias (bacterias metanógenas) que descomponen las sustancias orgánicas complejas liberando una serie de compuestos más simples, algunos de ellos gaseosos: éstos forman el biogás, compuesto principalmente por metano. El biogás se recoge en un gasómetro y se utiliza como fuente de calor para producir energía eléctrica o como combustible para automoción. En todas esas aplicaciones la energía se produce por la combustión del metano, cuya reacción está representada en la parte alta de la página siguiente. Además del biogás, en el digestor se forman residuos líquidos y sólidos ricos en nitrógeno y potasio, utilizables bien como fertilizantes agrícolas o para el cultivo en estanques del jacinto de agua, del que luego se obtienen piensos, o bien como alimento en la cría de peces.



El estiércol se puede introducir en grandes cargas cada cierto tiempo o bien en forma continua añadiendo pequeñas cantidades diarias. Una de las ventajas adicionales de las instalaciones de biogás es que el desecho final, o sea, la materia fermentada que queda en el depósito después de producir el metano, es un excelente fertilizante. Cuando se utilizan como materia prima desechos vegetales, el material descompuesto que queda en el digestor puede ser aprovechado, debidamente tratado, en la preparación de piensos para animales.

El biogás es especialmente útil como combustible económico de cocina en los países en desarrollo. Millares de generadores de biogás se han construido en India y China en los últimos veinte años, mientras que en los países altamente industrializados se empieza a dar importancia a la producción de biogás para reducir la dependencia de las importaciones de petróleo. Muchas instalaciones de biogás en Italia y Francia trabajan el estiércol de cerdos, tranformándolo en aproximadamente 1.600 metros cúbicos de metano al día. En las depuradoras de aguas residuales, como parte del proceso de depuración, se obtiene biogás a partir de los fangos.

Véase **Biomasa; Gas natural; Metano**



gasómetro

digestor

USOS DEL BIOGAS

invernadero

casa

combustión directa

energía eléctrica

tracción mecánica

DESECHOS ORGANICOS

fermentación anaeróbica
- natural
  - debajo del agua
    - BIOGAS
    - turba
  - vísceras
    - estiércol natural
- artificial
  - digestores
    - BIOGAS
    - residuos para abono

Bioingeniería

B*ioingeniería* es el término que se emplea para definir dispositivos construidos por el hombre para proteger la vida en ambientes hostiles; es útil en la investigación médica, en la diagnosis y en la terapia. El ambiente puede ser el exterior, como el espacio cósmico, o el interior de un organismo, en el caso de una disfunción renal.

La bioingeniería comprende dos sectores fundamentales de desarrollo. El primero se refiere a los *órganos artificiales*, máquinas que reproducen la función biológica de órganos (como el corazón o los pulmones) para prolongar la vida. Son ejemplos de ello el pulmón de acero y la máquina para la diálisis renal. El segundo sector es, teóricamente, más ambiental, y comprende sofisticados mecanismos conectados entre sí —conocidos como sistemas *biosustentadores*— que mantienen las exigencias fundamentales de la vida (por ejemplo, oxígeno y presión atmosférica) en lugares donde habitualmente faltan.

La figura muestra cómo funciona el marcapasos. Un electrodo, conectado a un cable, se introduce en una vena y se le hace llegar hasta el corazón donde se fija al interior del ventrículo derecho. El cable se conecta con el estimulador (que en la figura está representado por el aparato de abajo), que contiene tanto las fuentes de energía como los circuitos electrónicos. Actualmente, los marcapasos tienen una "vida" de diez años.

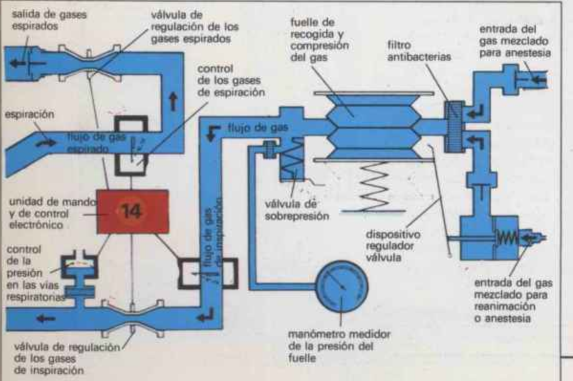
Aparatos biomédicos Los dispositivos biomédicos constituyen un avance relativamente reciente del tratamiento sanitario y parece que van a tener un papel de gran importancia en el futuro de la vida humana. Los bioingenieros pusieron ya a punto válvulas artificiales y otras partes del corazón, y se sigue trabajando en la realización de un corazón artificial. Hoy día, los aparatos biomédicos que más se emplean son el *pulmón de acero*, la *máquina corazón-pulmones* y la *máquina para la diálisis renal*. El pulmón de acero es un instrumento para la respiración mecánica, que debe su nombre a la cámara metálica, pesada y hermética, en cuyo interior se encuentra acostado el paciente, sólo con la cabeza fuera de la misma. Este aparato fuerza el aire de forma parecida a como actúa el diafragma (que separa el tórax del estómago). Así, emplea un diafragma mecánico móvil (colocado debajo del cuerpo del paciente) para forzar el aire hacia dentro y hacia fuera de la cámara. Cuando el fuelle del diafragma se contrae y el diafragma sube, la presión del aire en el interior de la cámara metálica aumenta hasta superar la atmosférica, que es la existente sobre la cabeza del paciente. Esto tiene como efecto empujar el aire fuera de los pulmones del sujeto. Cuando el fuelle se expande y el diafragma se relaja, la presión en el interior del pulmón de acero desciende por debajo de la atmosférica y el aire irrumpe en los pulmones para equilibrar ambas presiones. Por medio de la repetición mecánica y rápida de la acción del diafragma, el pulmón de acero cumple, mediante las variaciones de presión, la función normal de las contracciones musculares.

La máquina corazón-pulmones reduce las funciones cardíacas y pulmonares (respectivamente, *bombeo* y *oxigenación*) a acciones mecánicas. Empleada por vez primera en 1953, la máquina permite a los cirujanos parar el corazón de una persona y efectuar delicadas intervenciones quirúrgicas en el mismo, mientras los tejidos del organismo siguen recibiendo el oxígeno y las sustancias nutritivas de la sangre. La máquina funciona de la siguiente manera: varias cánulas están conectadas al corazón mismo y a la *vena cava*, la vena más grande que transporta sangre *desoxigenada* (o pobre en oxígeno) al corazón. A través de un sifón, esta sangre "usada" es obligada a fluir hacia el exterior del cuerpo y es llevada a unos cilindros de cristal, llamados *oxigenadores*, por pequeños conductos revestidos de silicio. En el interior de los cilindros, unos discos de acero giran continuamente e impulsan la sangre a través de un flujo de oxígeno, imitando así la cesión oxígeno-sangre de los pulmones. Cuando los glóbulos rojos quedan suficientemente oxigenados, la sangre es bombeada a través de un regulador térmico y un filtro antes de ser devuelta al sistema arterial, justo a la salida del corazón. Se suele reintegrar una cantidad algo superior en el sistema arterial, dado que son inevitables unas ligeras pérdidas.

El riñón artificial, o *hemodializador*, es una compleja máquina que elimina las impurezas de la sangre manteniendo su equilibrio ácido-base y añadiendo los componentes necesarios. Su empleo se hace imprescindible en caso de disfunción renal o de extirpación quirúrgica de los riñones. Básicamente, la diálisis es un proceso de intercambio químico que tiene lugar en dos cámaras separadas por una membrana porosa (en general, de celulosa o material afín). Una cámara se llena con sangre y la otra con una disolución estéril. La urea, las sales inorgánicas y otros desechos son lo suficientemente pequeños como para atravesar los poros de la membrana y difundirse en la disolución estéril; en tanto que las proteínas y las moléculas de hemoglobina son demasiado grandes y se quedan en su lado de la membrana. La sangre es mantenida a una presión mayor que la de la disolución asociada, de manera que las moléculas de agua de esta última no penetren en la sangre y la diluyan.

Ambientes artificiales La vida humana sería imposible en el espacio cósmico, bajo el agua y hasta en los aviones a reacción si no existiera la posibilidad de soluciones técnicas a los problemas que plantean los ambientes hostiles. En estos casos, la bioingeniería tiene la misión de "reproducir" ambientes biosustentadores para los seres humanos. Estos sistemas mantienen constantes la presión y la temperatura, la reserva de oxígeno y de agua, eliminando el dióxido de carbono, los olores y las sustancias de desecho del organismo.

Un ejemplo normal de ambiente con



El *servo-ventilador* es un aparato respirador pulmonar controlado electrónicamente, empleado en la terapia intensiva para pacientes adultos o recién nacidos que no son capaces de respirar por sí solos, o como ayuda en algunos casos de anestesia. Se aplica al paciente por traqueotomía o por entubación de nariz o boca.

presión artificial es la cabina de un avión reactor de línea. A altura de crucero, aproximadamente a 10.500 metros, y dada la baja presión atmosférica existente a esa altitud, una persona debería respirar oxígeno puro (no el 20% que contiene el aire al nivel del mar) para seguir las funciones normales. Por lo tanto, la presión de la cabina debe asegurar un ambiente en condiciones adecuadas para la inspiración de oxígeno por parte de los pulmones. En los aviones a reacción, esto se consigue encerrando el aire comprimido procedente del motor o de un compresor acoplado. Después de enfriado, este aire se hace circular por el fuselaje y la cabina. El aire excedente es expulsado al exterior junto con el dióxido de carbono, de manera que la instalación no requiere reciclado o purificación alguna.

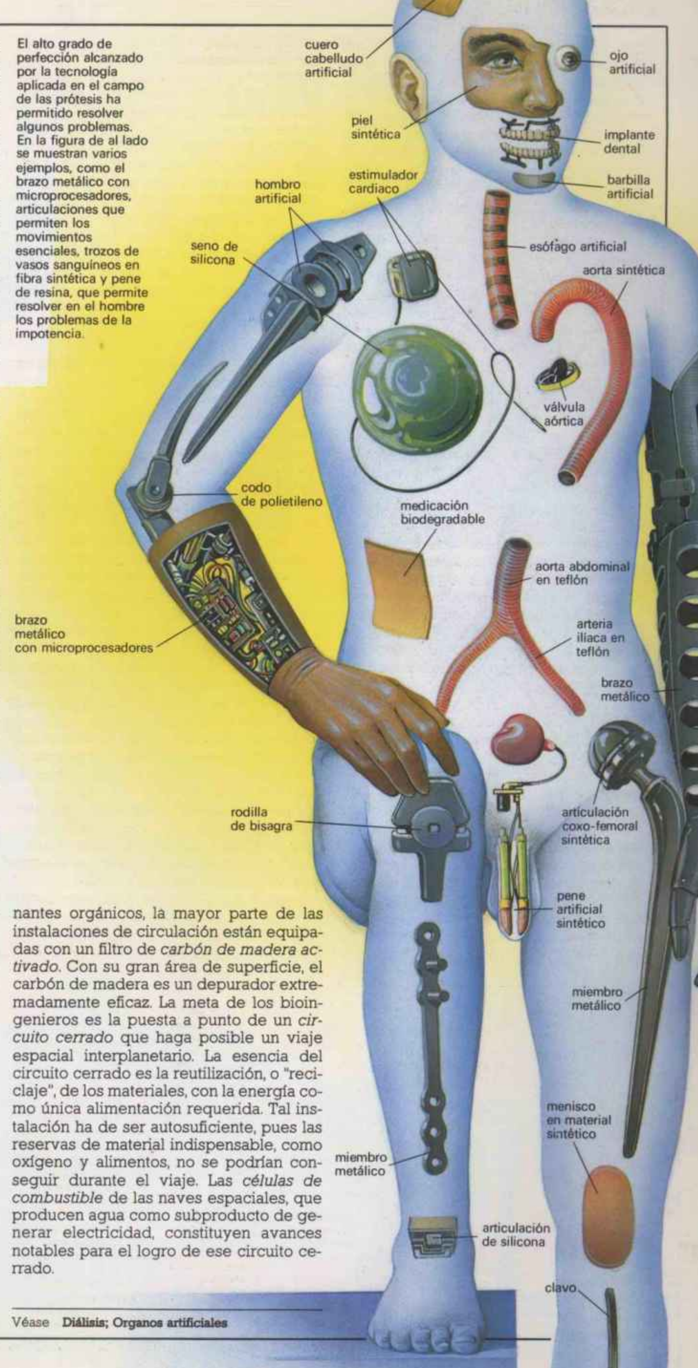
La respuesta definitiva de la tecnología a un ambiente hostil es el traje espacial lunar, que está compuesto por materiales tan diferentes como *nailon*, que puede soportar perfectamente las temperaturas elevadas; *neopreno*, una goma sintética que protege contra los micrometeoritos; *materiales plástico-aluminados*, para el aislamiento; y una red de tubos de líquidos de refrigeración situados sobre la epidermis. Esta carga dorsal, que pesa sólo 13,6 kilogramos en la superficie lunar, dada la baja gravedad allí existente, suministra las reservas de oxígeno y agua, así como presión constante, energía para los aparatos de comunicación y "contenedores" para los desechos.

Dos elementos clave de un sistema biosustentador —bajo el agua o en el espacio cósmico— son el suministro de oxígeno y la eliminación de dióxido de carbono.

El oxígeno se puede suministrar comprimido en bombonas. Cuando los principales problemas son el peso y el espacio, una alternativa la constituyen las formas sólidas de oxígeno. Por ejemplo, las *velas de clorato* son bloques de polvo de hierro y clorato de sodio que, al arder, producen oxígeno. El anhídrido sódico y el anhídrido potásico, conocidos como *super óxidos alcalinos*, reaccionan químicamente con el dióxido de carbono y con el agua para producir oxígeno. Los submarinos modernos emplean nuevas tecnologías basadas en reacciones electroquímicas que tienen como resultado la escisión del agua normal en moléculas de oxígeno e hidrógeno.

Tan necesaria como el suministro continuo de oxígeno es la eliminación constante del dióxido de carbono (producto de la respiración) de la atmósfera artificial. En general, esto se efectúa mediante compuestos químicos en polvo conocidos como *depuradores químicos de gas*, que sustraen las moléculas de dióxido de carbono del aire que se hace circular por ellos. A diferencia de otros depuradores, el de amina es reutilizable: el dióxido de carbono acumulado se puede separar con calor, concentrarlo y expulsarlo de la instalación. Para eliminar del aire las moléculas de los malos olores y otros contaminantes orgánicos, la mayor parte de las instalaciones de circulación están equipadas con un filtro de *carbón de madera activado*. Con su gran área de superficie, el carbón de madera es un depurador extremadamente eficaz. La meta de los bioingenieros es la puesta a punto de un *circuito cerrado* que haga posible un viaje espacial interplanetario. La esencia del circuito cerrado es la reutilización, o "reciclaje", de los materiales, con la energía como única alimentación requerida. Tal instalación ha de ser autosuficiente, pues las reservas de material indispensable, como oxígeno y alimentos, no se podrían conseguir durante el viaje. Las *células de combustible* de las naves espaciales, que producen agua como subproducto de generar electricidad, constituyen avances notables para el logro de ese circuito cerrado.

Véase **Diálisis; Organos artificiales**



El alto grado de perfección alcanzado por la tecnología aplicada en el campo de las prótesis ha permitido resolver algunos problemas. En la figura de al lado se muestran varios ejemplos, como el brazo metálico con microprocesadores, articulaciones que permiten los movimientos esenciales, trozos de vasos sanguíneos en fibra sintética y pene de resina, que permite resolver en el hombre los problemas de la impotencia.

Biología

La *Biología* puede definirse como la ciencia que estudia los seres vivos, que a su vez pueden, en principio, definirse como estructuras dotadas de metabolismo (conjunto de reacciones químicas que tienen lugar dentro del organismo) y de reproducción (capacidad de perpetuar su especie produciendo nuevas generaciones del mismo organismo). Los seres vivos proceden exclusivamente de otros seres vivos.

Hace unos 2.300 años, un científico griego, llamado Polibio, escribió un libro titulado *Sobre la naturaleza del hombre*. En este libro, Polibio, yerno y discípulo de Hipócrates, intentaba describir las relaciones entre la materia viva y el temperamento. Llamó *humores* a los elementos constitutivos de la materia viva e identificó cuatro de ellos: la sangre, correspondiente al temperamento vital; la bilis negra, al temperamento melancólico; la bilis amarilla, al colérico, y la flema, al flemático. La teoría de los cuatro humores ha sido desechada, pero eso no priva de su importancia histórica a la labor de Polibio. Fue uno de los primeros en intentar explicar la naturaleza de la vida, en practicar lo que hoy llamamos Biología.

En un sentido más amplio, la Biología se puede entender como un conjunto de nociones sobre la vida, deducidas de observaciones rigurosas. Así, el filósofo griego Aristóteles se autocalificó de biológo cuando se planteó por primera vez preguntas sobre la naturaleza de la vida, preguntas que todavía hoy son pertinentes.

En resumen, la Biología es una actividad que consiste en plantearse preguntas y, contando con los instrumentos adecuados, tanto materiales (un laboratorio bien equipado) como mentales (inteligencia y capacidad de análisis), poder "ver" las cosas del mundo viviente.

Es de notar que mucho antes de que la palabra *Biología* fuese aceptada oficialmente en el léxico, fueron muchos los investigadores que, como Polibio, intentaron explicar los fenómenos vitales. Por tanto, en la época en la que el término *Biología* empezó a utilizarse —hacia principios del siglo pasado— ya se habían realizado muchos descubrimientos fundamentales en su ámbito.

La Biología en la Grecia antigua Las líneas generales de la Biología fueron ya trazadas, aunque sólo de modo aproximado, durante el período de mayor esplendor de la civilización griega, unos 500 años antes de Cristo. El filósofo siciliano Empédocles, por ejemplo, fue uno de los primeros en exponer la teoría de que el corazón humano es el órgano principal del sistema circulatorio. Otros dos biólogos de la Antigüedad, Alcmeón de Crotona y Diocles de Caristo, hicieron investigaciones sobre el desarrollo del feto, anticipándose a lo que luego sería la Embriología, el estudio del desarrollo animal desde la fecundación hasta el nacimiento.

Dado que los primeros biólogos griegos se limitaban a la observación visual, sus conclusiones adolecían de carencias importantes. Empédocles, por ejemplo, sostuvo la idea equivocada de que la sangre tiene un calor "innato". Pero, a pesar de sus limitaciones, estos primeros intentos de definir el mundo viviente sirvieron para animar a los siguientes investigadores y abrieron el camino a trabajos de investigación que todavía continúan. Por ejemplo, la comparación entre el cerebro humano y el de una cabra, hecha por investigadores de ascendencia hipocrática, representa uno de los primeros intentos de hacer una Morfología comparada. La Morfología, o estudio de la forma de los seres vivos, desde la de las ballenas hasta la de las bacterias, es una parte fundamental de la Biología y aún hoy sigue en desarrollo.

Aristóteles como biólogo Aristóteles, nacido en el año 384 antes de Cristo, es conocido tradicionalmente como un gran filósofo, pero sus conclusiones como biólogo fueron prodigiosas y establecieron gran parte de las bases de la Biología moderna. Su obra individualiza las áreas de mayor importancia para la Biología, como la Morfología, la Etología (estudio del comportamiento animal), la Taxonomía (clasificación de los organismos vivos) e incluso la Evolución (estudio de la continuidad y de la perpetuación con cambio de los organismos).

Como naturalista, Aristóteles demostró ser un observador atento y minucioso, dos cualidades esenciales de todo buen biólogo. Publicó sus observaciones en obras como *Historia de los animales*, *Sobre el origen de los animales* y *Sobre las partes de los animales*, obras que continúan siendo claves para la historia del naturalismo.

Una de las aportaciones más importantes de Aristóteles fue el concepto de escala de la Naturaleza, es decir, de la escala de los organismos. El decía que esta escala va desde la materia inorgánica a los organismos más simples y desde éstos a los más complejos. Así, Aristóteles escribió: "...Después de los objetos inanimados, en la escala ascendente vienen las plantas... hay en las plantas un continuo avance en dirección hacia los animales... Así, la Naturaleza pasa de los objetos sin vida a los animales siguiendo una secuencia ininterrumpida, por la que parece como si entre dos grupos próximos no hubiera apenas diferencias, tal llega a ser su semejanza". En un ámbito más específicamente filosófico, caracterizó el alma de los seres vivos como vegetal (dotada de capacidad de crecimiento y reproducción), animal (que posee además la capacidad de movimiento y locomoción) y racional (capacidad de pensar y razonar). Estas ideas aristotélicas apuntan hacia dos facetas muy importantes de la Biología: la clasificación y la evolución; veintidós siglos más tarde esta forma de ver las cosas habría de dar su mejor fruto con la teoría actual de la evolución.

El eclipse de la Biología Tras la muerte de Aristóteles en el año 322 antes de Cristo, el cuerpo de doctrinas de la Biología no experimentó expansiones importantes hasta el Renacimiento. No obstante, se realizaron algunos avances.

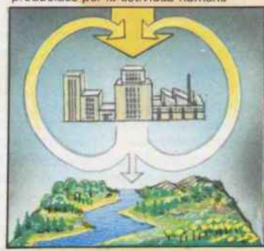
El médico griego Galeno, por ejemplo, tuvo una notable y duradera influencia sobre la nueva rama de la Biología denominada Fisiología, que se ocupa del estudio de las funciones de los seres vivos y de sus partes constituyentes. Galeno estudió experimentalmente la médula espinal de una vaca para comprender su funcionamiento. Seccionó la médula a distintos niveles vertebrales y correlacionó la posición del corte medular con las distintas formas de parálisis que resultaban. Este experimento, llevado a cabo en el siglo II antes de Cristo, estableció la relación existente entre el sistema nervioso central y las funciones musculares. Galeno intuyó correctamente que la médula espinal de la vaca funcionaba de manera muy similar a la del hombre, fundando así la Fisiología comparada. Aunque ya antes de Galeno se habían utilizado animales en la investigación biológica, la vaca y los monos de Galeno pueden ser considerados como los primeros "animales de laboratorio", los primeros animales con los que se realizaron experimentos y no simplemente observaciones.

La actitud experimental concuerda con el método aristotélico de la observación. Si el naturalismo es una clase de observación pasiva, podemos definir la experi-

embrión humano en el saco fetal



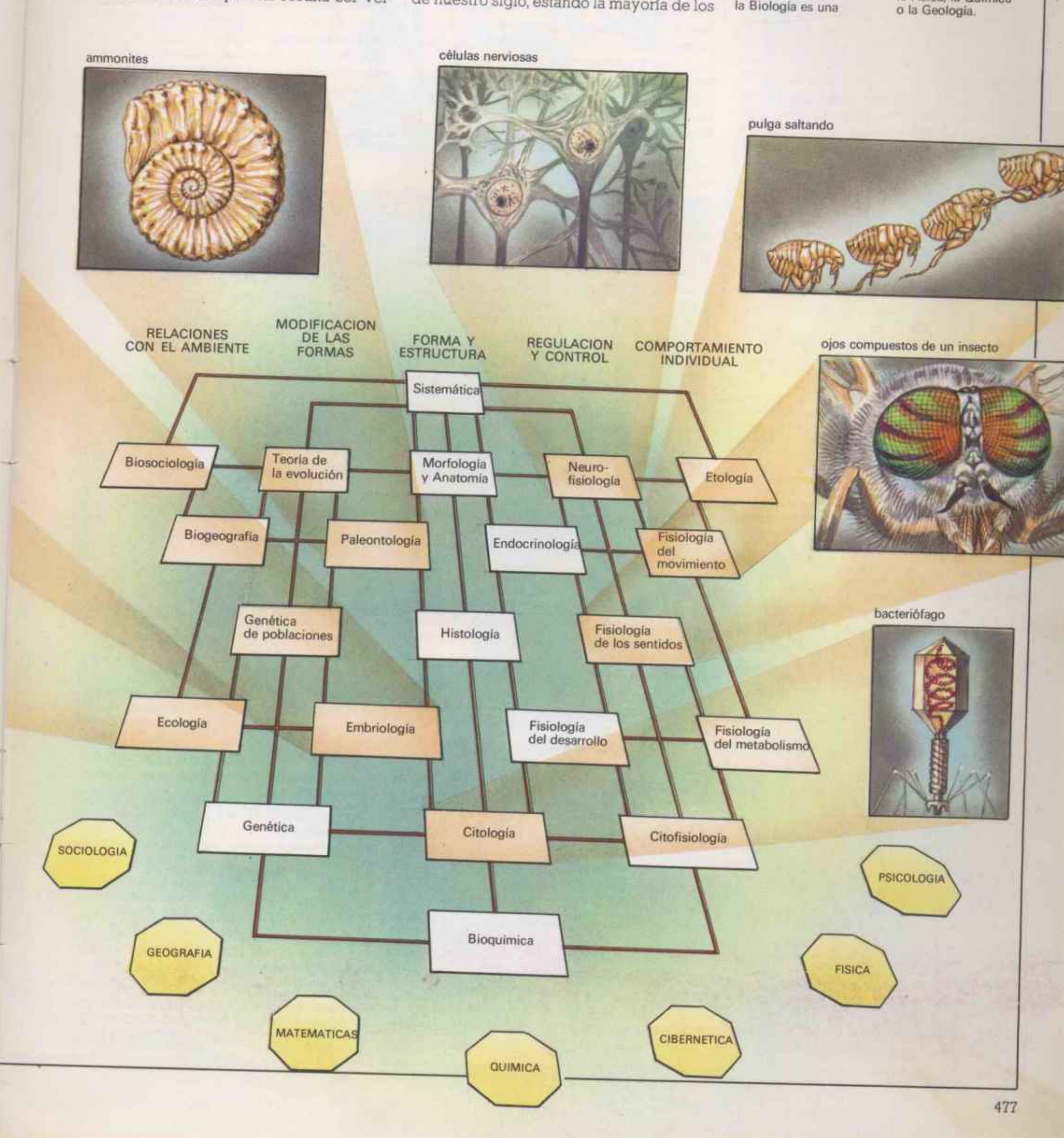
alteraciones ambientales producidas por la actividad humana



mentación como un tipo de observación controlada. El biológo, como los demás científicos, comienza por formular una hipótesis sobre el modo de funcionar de un organismo. La hipótesis se basa en los conocimientos ya adquiridos, en sus propias observaciones y en el grado de plausibilidad que ofrezca; si la hipótesis se confirma bajo condiciones rigurosas de observación y experimentación, el biólogo puede afirmar que ha demostrado el punto en cuestión. Si una hipótesis resulta ser verdadera en todos los casos, se formula una ley.

La idea de la experimentación biológica maduró con la expansión de las universidades y, sobre todo, con la difusión de las escuelas de Medicina. Desde los tiempos de Hipócrates la investigación médica y la biológica se venían superponiendo y las universidades perpetuaron esa tradición. La universidad es la base de la mayor parte de la investigación biológica de nuestro siglo, estando la mayoría de los

La Biología, ciencia de la vida, estudia todas las manifestaciones de los seres vivos. Se trata, por tanto de una ciencia que se ocupa de muy diversos niveles de organización de la materia, desde el nivel molecular, al celular, individual y poblacional. En consecuencia, la Biología es una ciencia muy amplia, que comprende varias disciplinas con personalidad propia, como la Citología, la Bioquímica, la Genética, la Botánica, la Zoología, la Ecología, etc., y está vinculada por fronteras interdisciplinares a otras ciencias, como la Física, la Química o la Geología.



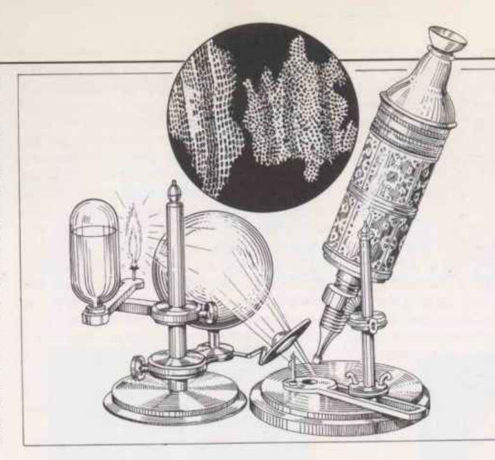
investigadores de ciencias fundamentales relacionados con alguna institución universitaria.

La primera escuela médica europea fue la de Salerno, en Italia, fundada probablemente en el siglo X. Antes de Salerno la búsqueda del saber estaba reservada a los "escolares" de familias nobles, a los naturalistas viajeros y a los científicos de las cortes. La universidad institucionalizó un sistema que no sólo hizo colectivo el saber científico, sino que animó a todos en general a plantearse nuevas preguntas.

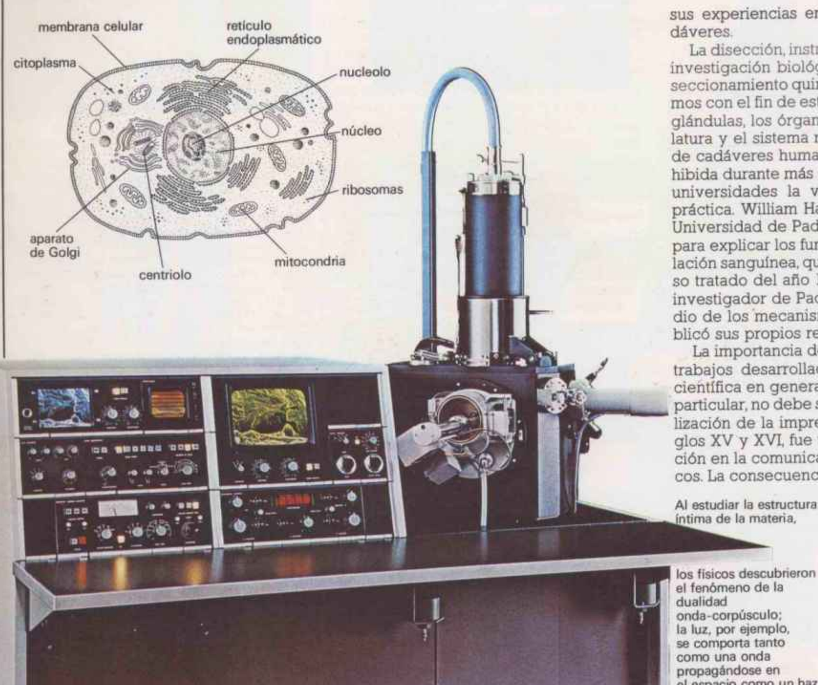
El sistema universitario comenzó a dar fruto durante los siglos XVI y XVII. Materias como la Anatomía, la Fisiología, la Botánica y la Zoología empezaron a ser enseñadas en la Universidad de Padua, donde Andrés Vesalio publicó un importante tratado de Anatomía. La mayor parte de la información contenida en él procedía de sus experiencias en la disección de cadáveres.

La disección, instrumento esencial de la investigación biológica, es el método de seccionamiento quirúrgico de los organismos con el fin de estudiar el esqueleto, las glándulas, los órganos internos, la musculatura y el sistema nervioso. La disección de cadáveres humanos había estado prohibida durante más de 1.000 años, pero las universidades la volvieron a poner en práctica. William Harvey, estudioso de la Universidad de Padua, utilizó esta técnica para explicar los fundamentos de la circulación sanguínea, que resumió en un famoso tratado del año 1628. G. A. Borelli, otro investigador de Padua, se dedicó al estudio de los mecanismos musculares y publicó sus propios resultados en 1680.

La importancia de la publicación de los trabajos desarrollados, para la actividad científica en general y para la Biología en particular, no debe ser infravalorada: la utilización de la imprenta, iniciada en los siglos XV y XVI, fue una verdadera revolución en la comunicación entre los científicos. La consecuencia lógica de esta revo-



La invención del microscopio tuvo una enorme repercusión en el desarrollo de la Biología, contribuyendo, entre otras cosas, a aclarar el origen biótico de los animales. En el dibujo, microscopio de Robert Hooke y aspecto que ofrece, en observaciones microscópicas, la corteza de alcornoque. Robert Hooke acuñó el término "célula" para referirse a las celdillas visibles al microscopio en dicho tejido. El descubrimiento de Hooke inició el desarrollo de la moderna teoría celular.



G. Visco, M. P. Camporiondo y S. Rizzi

Al estudiar la estructura íntima de la materia, los físicos descubrieron el fenómeno de la dualidad onda-corpúsculo; la luz, por ejemplo, se comporta tanto como una onda propagándose en el espacio como un haz de fotones, "dardos de luz", según Einstein, discretos. Luis de Broglie supuso que, en consecuencia, los electrones que se desplazaran a grandes velocidades se comportarían como ondas luminosas. Poniendo en práctica esa teoría, Ruska inventó en 1980 el microscopio electrónico.

En la imagen, moderno microscopio electrónico de barrido (SEM) que permite alcanzar hasta cien mil aumentos. En la parte superior izquierda, esquema de una célula según los datos de la microscopía electrónica. La Biología molecular es un campo muy importante de estudio, por cuanto la estructura de la célula es el fundamento mismo de los fenómenos vitales; además, muchas enfermedades se deben a alteraciones de las funciones celulares, y, por lo tanto, profundizar en el conocimiento de la célula redundará en una mejor comprensión de las enfermedades.

lución es la proliferación actual de periódicos y revistas científicas, gracias a la cual un experimento de Genética llevado a cabo en Tokio o Nueva York puede ser comunicado al resto de los hombres en el plazo de un mes. Tal actividad de comunicación contribuye a estructurar la Biología moderna como una labor de alcance internacional.

El microscopio y la célula En el siglo XVII tuvo lugar otra revolución con la invención del microscopio, instrumento que, focalizando la luz que pasa a través de unas lentes de vidrio, aumenta muchas veces el tamaño aparente de los objetos. El microscopio permite ver organismos minúsculos y estructuras que antes de la invención de dicho aparato eran invisibles para el ojo desnudo.

Galileo, profesor en Padua, inventó en el año 1610 el primer microscopio compuesto, pero fue necesario que pasaran cincuenta años más para que las implicaciones de este nuevo y eficaz modo de ver la Naturaleza se hicieran patentes.

Anton van Leeuwenhoek utilizó el microscopio para observar por vez primera espermatozoides y bacterias, inaugurando así la Microbiología. Marcello Malpighi observó las funciones de los capilares en las ranas, dotando a la teoría de la circulación de William Harvey del soporte que necesitaba.

El descubrimiento más significativo fue realizado por Robert Hooke en el año 1665. En un tratado, muy famoso hoy en día, describió el aspecto al microscopio de una delgada lámina de corcho, con sus pequeñas cavidades diferenciadas que denominó *células*. Este descubrimiento, en apariencia modesto, abrió el camino a dos siglos de experimentación y se tradujo en la moderna teoría celular, que establece que la célula es la unidad constitutiva fundamental tanto de los animales como de los vegetales.

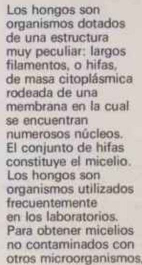
La célula se ha convertido en uno de los temas fundamentales de la Biología moderna. Mediante instrumentos y técnicas cada vez más complejos, los citólogos o biólogos celulares han mostrado que la célula esta físicamente limitada por una membrana, que rodea a un medio semifluido apropiado para las relaciones metabólicas o citoplasma, en el que se encuentran ciertos orgánulos, como el núcleo, donde va la mayor parte de la información genética de la célula, y las mitocondrias, en las que se fabrica la mayor parte del ATP, la molécula energética de la célula. Las células vegetales contienen, además, cloroplastos, los orgánulos donde tiene lugar la fotosíntesis.



Farmitalia-Carlo Erba







Los hongos son organismos dotados de una estructura muy peculiar: largos filamentos, o hifas, de masa citoplásmica rodeada de una membrana en la cual se encuentran numerosos núcleos. El conjunto de hifas constituye el micelio. Los hongos son organismos utilizados frecuentemente en los laboratorios. Para obtener micelios no contaminados con otros microorganismos, como los micelios de *Penicillium corylophilum* de la figura sobre estas líneas, basta con sembrar las esporas del hongo en un medio adecuado previamente esterilizado. En la foto de la izquierda, vista general de un laboratorio para investigación de antibióticos, sustancias que inhiben el desarrollo de ciertos organismos. Muchos microorganismos producen antibióticos.

El descubrimiento de la célula ha permitido subdividir la materia viva en sus componentes elementales; así como el átomo representa la unidad fundamental de la Química y el cuanto de energía es tal vez la unidad fundamental de la Física, la célula es la unidad fundamental de la Biología. Dado que los biólogos interpretan cada vez más las células en términos de sus partes constituyentes, la Física y la Química cobran cada vez más importancia en la explicación del funcionamiento de las células y, por tanto, en la biología.

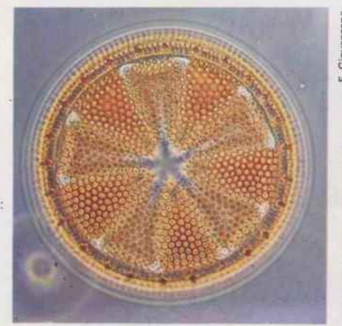
La Biología molecular La identificación, entre 1944 y 1953, del ácido desoxirribonucleico (ADN) como molécula de la herencia constituye un buen ejemplo de la interdependencia actual entre la Química y la Biología, dos disciplinas que al unirse han originado la Bioquímica, o Química de los fenómenos biológicos.

Sofisticadas técnicas han permitido a los científicos del siglo XX estudiar la bioquímica de las partículas subcelulares y las reacciones químicas que ocurren en los organismos. Los nuevos descubrimientos y las nuevas formas de ver la Naturaleza han sido posibles gracias a la invención de nuevos instrumentos de laboratorio, como el microscopio electrónico y la ultracentrifugadora. El microscopio electrónico, inventado en los años treinta, empezó a dar los primeros resultados prácticos en la década de los cincuenta. Proporciona imágenes dirigiendo un haz de electrones contra objetos extremadamente pequeños: la reflexión y la dispersión de los electrones determina la formación de una imagen sobre una pantalla de televisión, imagen que es un millón de veces mayor que el objeto original. El microscopio electrónico ha desempeñado un papel esencial a la hora de confirmar la exis-



G. S. Giacomelli

En la parte superior izquierda, aspecto al microscopio óptico del *Amoeba proteus*, organismo unicelular que se desplaza mediante pseudópodos. En el centro, ejemplar de alga unicelular microscópica del grupo de las diatomeas, caracterizadas por poseer una cubierta silícea. A la derecha, fotografía (con el microscopio de luz polarizada) de moléculas de creatina, sustancia muy abundante en el tejido muscular. La creatina, al igual que todas las moléculas que componen los seres vivos, está integrada por los mismos tipos de átomos que encontramos en la materia inerte. No existe, por tanto, a nivel atómico una diferencia esencial entre un ser vivo y un objeto inerte, la diferencia sólo empieza a hacerse perceptible a niveles de organización más complejos en la materia: una consecuencia de gran importancia filosófica es que los seres vivos deben seguir, y de hecho siguen, las mismas leyes físico-químicas que el resto del universo.





E. Giovenzana

tencia de los virus, minúsculas partículas "hechas" de proteínas y ácido nucleico, que pueden cristalizar, como muchas sustancias químicas inanimadas, y, sin embargo, se reproducen, dentro de las células, como el resto de los organismos vivos.

La ultracentrifugadora hace girar fragmentos celulares y otras minúsculas estructuras a velocidades extremadamente altas, lo que provoca que los componentes de una mezcla compleja inicial se separen en capas finas que pueden ser aisladas y analizadas químicamente. Confrontando la imagen ultramicroscópica con la composición química, los biólogos pueden hacerse una idea más precisa de la estructura subcelular.

La clasificación de los organismos Los seres vivos que nos resultan más familiares pueden clasificarse, "grosso modo", en dos grandes categorías: animales y vegetales. La Zoología es la ciencia que estudia los animales, la Botánica la que estudia los vegetales. Actualmente se piensa que la división más importante entre los seres vivos es la que se da entre, por una parte, organismos dotados de núcleo verdadero, los *Eucariotas*, como son las plantas, animales, algas, hongos y protozoos y, por otra parte, organismos carentes de núcleo verdadero, los *Procariotas*, grupo que comprende a las bacterias y a las algas verde-azuladas. Los Procariotas son probablemente los organismos vivos más antiguos que hay sobre nuestro planeta.

La Biología sistemática, que pretende clasificar metódicamente los seres vivos en reinos, phyla, clases, órdenes, familias, géneros y especies, es el desarrollo lógico de la primitiva escala de la Naturaleza de Aristóteles. El principal exponente de la Biología sistemática es Carlos Linneo, botánico sueco que introdujo la clasificación binomial para la identificación de los organismos, como, por ejemplo, para los humanos *Homo* (género) *sapiens* (especie). Actualmente se conocen más de un millón de especies de animales y más de trescientas mil especies de vegetales.

Evolución y herencia La amplia diversidad de organismos que pueblan nuestro planeta se puso de manifiesto a lo largo del siglo pasado, cuando expediciones naturalistas, como la del *Beagle*, nave inglesa en la que viajó Darwin y que entre 1831 y 1836 recorrió el océano Pacífico, pusieron en evidencia que en diferentes zonas del planeta se han desarrollado diferentes especies animales y vegetales, cada una adaptada a las condiciones del medio en que vive.

La Paleontología, es decir, el estudio de los fósiles, amplió el campo de estudio de la Morfología comparada a especies extinguidas desde hace largo tiempo. La continuidad del mundo viviente que sugerían los datos paleontológicos y la diversidad actual de especies vivas adaptadas a ambientes distintos pusieron las bases de la más importante revolución científica del siglo pasado: el evolucionismo.

El año 1859, Charles Darwin, naturalista que había recogido durante la expedición del *Beagle* muchos datos que servirían de base a su teoría de la evolución, publicó *El origen de las especies*. En dicho libro proponía como mecanismo fundamental de la evolución el concepto de "selección natural", según el cual como toda población de seres vivos contiene variantes hereditarias, las variantes de mayor éxito reproductivo serán "seleccionadas" por la Naturaleza, lo que permitiría la continuidad de las especies antiguas y la aparición de especies nuevas. La teoría de Darwin contradecía, y ha llegado a sustituir, la hipótesis de que las especies han permanecido sin sufrir variaciones desde el momento de su creación.

El modo exacto de herencia de la variabilidad biológica que sirve de sustrato a la evolución era desconocido para Darwin, pero empezó a vislumbrarse a partir de los experimentos de Gregor Mendel, quizá el último de los biólogos aficionados que consiguió resultados de importancia histórica. En 1865, seis años después de la publicación de *El origen de las especies*, Mendel expuso la leyes que explican la transmisión de los caracteres de un organismo a sus descendientes. Las conclusiones de Mendel se basaron en experimentos realizados con simples guisantes, pero resultaron ser aplicables a todos los seres vivos y se convirtieron en las leyes fundamentales de la Genética, ciencia de la herencia.

Buena parte de la Biología del siglo XX se ha dedicado a la investigación de los mecanismos de la transmisión hereditaria. Hoy en día se sabe que hay unos factores hereditarios que determinan los caracteres visibles: los genes. Los genes se encuentran en los cromosomas, estructuras microscópicas visibles en el núcleo de las células. Los genes dictan químicamente el modo como han de realizarse los procesos metabólicos de una célula y contienen las instrucciones para las futuras generaciones celulares.

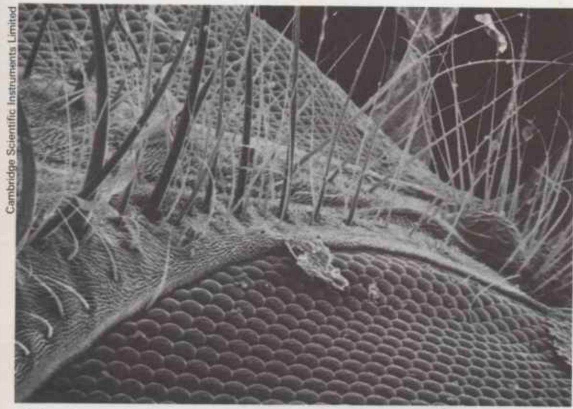
La identificación del ADN como la sustancia de la que están hechos los genes

ha permitido unificar la Biología celular con la molecular y a éstas con la Genética y la teoría de la evolución. Así, unos 300 años después del descubrimiento de la célula, los biólogos han sido capaces de descubrir las estructuras químicas que la controlan.

Véase **Biología marina; Biología molecular; Célula; Etología; Fisiología; Genes; Genética; Microscopio**

DR. Albergoni

Cambridge Scientific Instruments Limited



En la parte superior derecha, células vegetales del parénquima, caracterizadas por su gruesa pared hemicelulósica. La fotografía fue tomada con 420 aumentos por el Dr. Albergoni. En el centro, aspecto del ojo de un insecto, visto con el microscopio de barrido. En la parte inferior, a la izquierda, fotografía de un conjunto de pequeños huevos de insecto tal como se ven con una lupa. Nótese la aparente ausencia de estructura interna, sólo observable con métodos ópticos más potentes. A la derecha, detalle, al microscopio electrónico, de una célula hepática de ratón tratada con la técnica de la criofractura, consistente en congelar rápidamente y cortar a continuación la preparación.

L. M. Ruiz



Balzers A. G.-Liechtenstein



La dificultad de ver los huevos de gran cantidad de insectos sin ayuda de lupas o de microscopio hizo que durante mucho tiempo se considerase que los insectos surgían directamente de la materia inorgánica por generación espontánea, teoría que se mantuvo hasta los experimentos de Pasteur en el siglo XIX.

Biología marina

La Biología marina es la parte de la Biología que estudia los organismos marinos, las relaciones existentes entre los mismos y sus interacciones con el medio en el que viven.

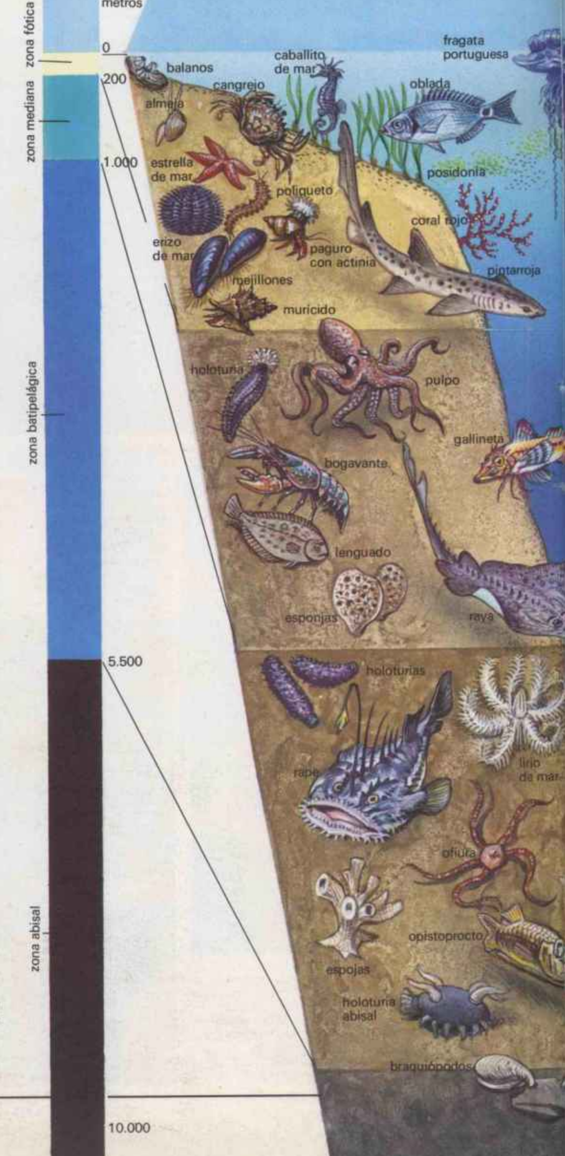
Desde la Antigüedad, el hombre se ha sentido fascinado por el mar y los seres que lo habitan y ha aprovechado sus recursos. Una de las más antiguas metas humanas era penetrar en el interior de las aguas, conocer el mar por dentro; pero, a pesar de que se han encontrado bajorrelieves asirios que representan hombres nadando bajo el agua, respirando gracias al aire encerrado en una bolsa hecha de piel de cabra, y de que Leonardo da Vinci dibujara bosquejos de "pulmones" para la inmersión, fue en el siglo XVII cuando, gracias a la invención de la *campana de inmersión*, se hizo posible para el hombre permanecer bajo el agua períodos de tiempo bastante largos, favoreciendo de este modo la profundización en el conocimiento del medio marino. La primera *escafandra* de buzo obligaba al individuo que se sumergía a permanecer unido a la embarcación, en la que se había instalado un compresor que le hacía llegar el aire a través de un largo tubo de goma, limitando, por lo tanto, su capacidad de acción. Hasta épocas muy recientes no se ha dispuesto de métodos de inmersión que permitieran permanecer mucho más tiempo bajo el agua y obtener la libertad de movimientos necesaria. Estos avances impulsaron con firmeza la investigación submarina.

En los años cuarenta, Jacques Cousteau y Emile Gagnan construyeron el primer aparato *distribuidor de aire automático* para la respiración submarina. Pero si bien la invención del autorrespirador representó un gran paso en el campo de la investigación submarina, las inmersiones estaban limitadas a profundidades no mayores de unos pocos centenares de metros. En el año 1948, el *batiscafo*, inventado por Auguste Piccard, se sumergió en el océano hasta una profundidad de aproximadamente 1.500 metros, permitiendo al hombre pasar largos períodos a profundidades considerables y los biólogos pudieron aprovechar estas ventajas para conocer mejor el medio marino.

El no poder, durante mucho tiempo, penetrar en las aguas profundas no fue impedimento para que el hombre estudiara la vida marina, ideando aparatos que permitían tomar muestras del fondo y de la superficie desde las propias embarcaciones. Estos aparatos se han ido perfeccionando con el tiempo, y de esta forma se ha llegado a tener un buen conocimiento de las características físico-químicas de las aguas, de la topografía de los fondos oceánicos, de los sistemas de corrientes marinas y de la distribución y biología de los organismos marinos. Parte de estos conocimientos, por la especificidad y amplitud de su objeto, corresponden a ciencias auxiliares y paralelas de la Biología marina, como la Oceanografía.

Distribución de la vida en el mar En el mar podemos distinguir dos grandes regiones: el dominio bentónico o región de fondo, y el dominio pelágico, que comprende el resto de la masa de agua.

En el *dominio bentónico*, habitado por un conjunto de organismos denominados "bentos", encontramos en primer lugar la *zona de mareas*, de anchura variable según los sectores y caracterizada por organismos preparados para soportar la desecación periódica y el oleaje (cirrípedos, algas, lapas, etc.). Después están los fondos sumergidos, que alcanzan hasta los 200 metros de profundidad. Se conocen como *plataforma continental*, y se extienden hasta donde alcanza la vida vegetal, aunque ésta se desarrolla sobre todo en los primeros 50 metros. Son estos los fondos más vistosos y con mayor cantidad de



Las características de las aguas marinas determinan la distribución de los organismos vivos. La capa superior, más iluminada, conocida como zona fótica, es rica en oxígeno gracias a la fotosíntesis de los vegetales que en ella viven. Esto permite la existencia de numerosas especies animales, tanto herbívoras como carnívoras. Más abajo, la luz que penetra no es suficiente para realizar la fotosíntesis, y la única fuente de energía está constituida por material orgánico en descomposición que desciende desde las capas superiores.

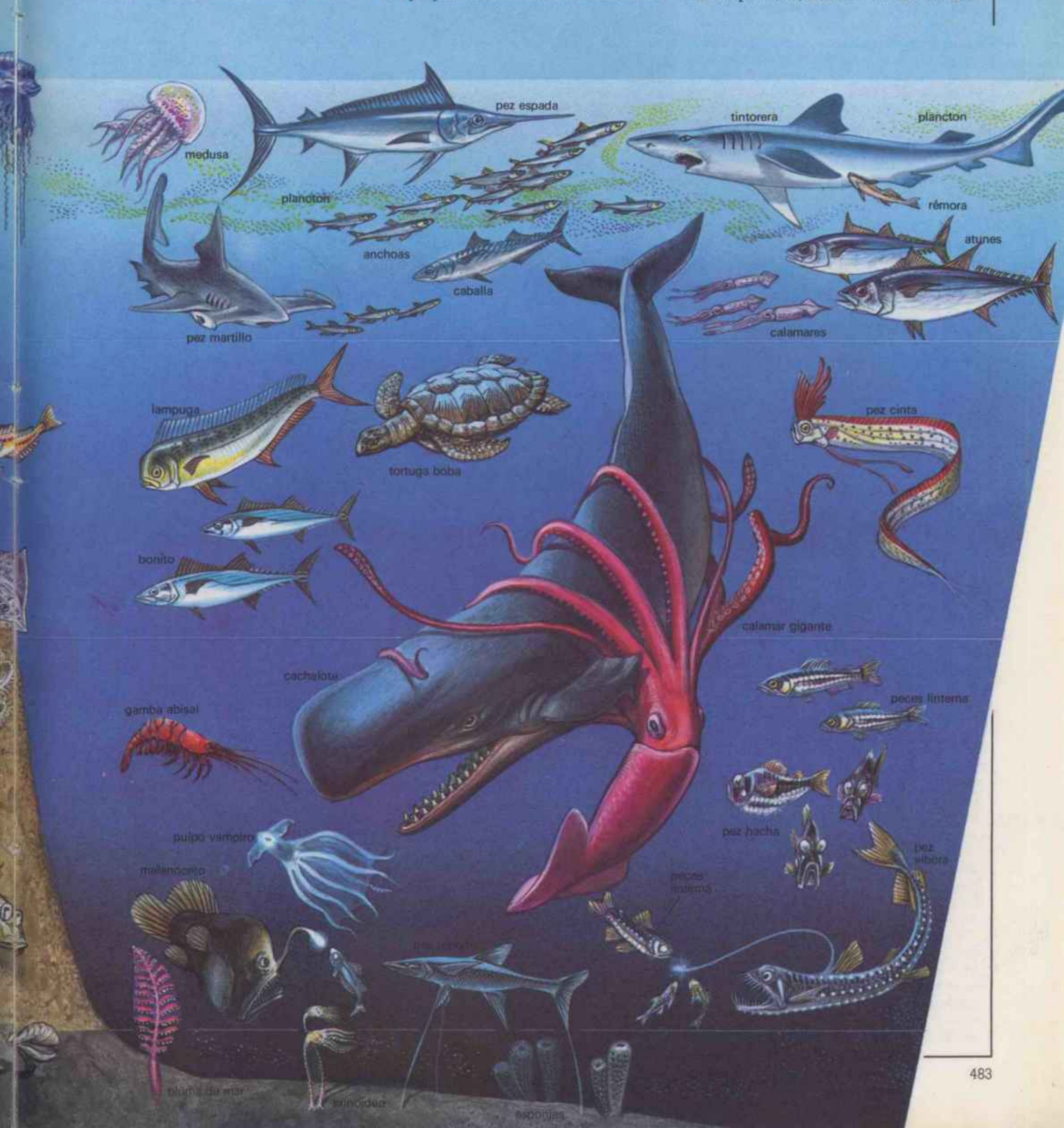
El comportamiento, la forma y el color de los animales varían mucho con la profundidad. En las capas más superficiales predominan las formas transparentes o de colores miméticos vistosos. A medida que se desciende en profundidad, las coloraciones se hacen monocromáticas, predominando el rojo y el negro, que con la escasa luz existente mimetizan las especies que allí viven. En las zonas donde reina una completa oscuridad, la única forma de luz es debida a la bioluminiscencia de los órganos luminosos de algunos animales de estas zonas. En la imagen se representa un perfil imaginario de la zona costera y oceánica, y la distribución de algunas formas de vida correspondientes a cada nivel de profundidad.

especies animales (invertebrados y peces) y vegetales (algas y fanerógamas marinas).

A continuación existe una pronunciada pendiente, el *talud continental*, que alcanza hasta los 3.000 m. Son fondos carentes de vida vegetal y en los que aparecen ya los animales típicos de las profundidades. Por debajo del talud está el *fondo abisal*, conocido también como "llanura abisal" por su pendiente poco inclinada; la fauna aquí es muy particular y se empobrece en biomasa.

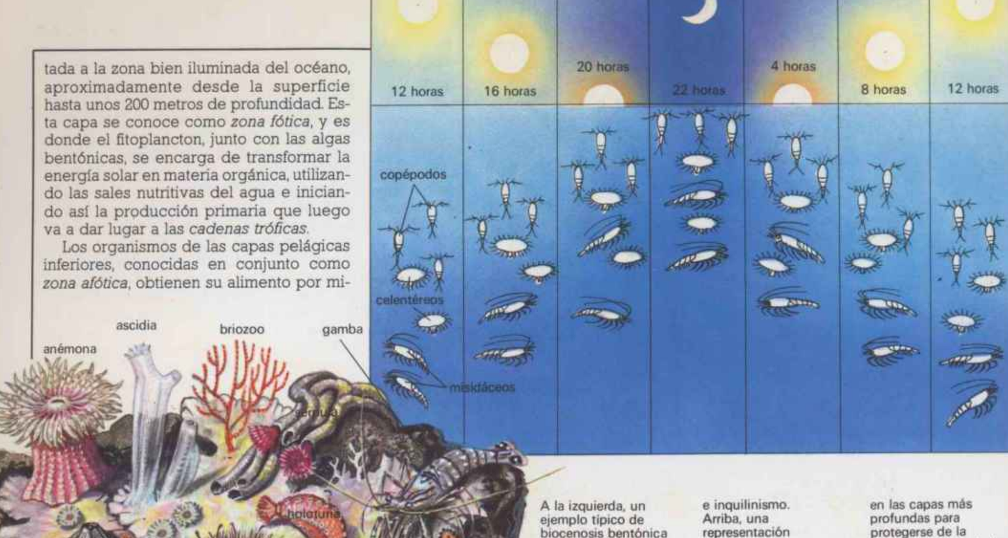
En el *dominio pelágico* existe una estratificación similar a la descrita para el bentónico. Los organismos pelágicos se agrupan en dos categorías: *necton* (peces, tortugas, cetáceos, cefalópodos), que son los animales capaces de contrarrestar con sus propios movimientos los debidos a la dinámica marina, y el *plancton*, integrado por los organismos que no son capaces de vencer los movimientos del mar y son arrastrados por ellos. Generalmente, son organismos de pequeño tamaño o microscópicos, vegetales (*fitoplancton*) o animales (*zooplancton*).

Debido a que la luz es uno de los principales requerimientos para el desarrollo del fitoplancton, su distribución está limi-



tada a la zona bien iluminada del océano, aproximadamente desde la superficie hasta unos 200 metros de profundidad. Esta capa se conoce como *zona fótica*, y es donde el fitoplancton, junto con las algas bentónicas, se encarga de transformar la energía solar en materia orgánica, utilizando las sales nutritivas del agua e iniciando así la producción primaria que luego va a dar lugar a las *cadenas tróficas*.

Los organismos de las capas pelágicas inferiores, conocidas en conjunto como *zona afótica*, obtienen su alimento por mi-



A la izquierda, un ejemplo típico de biocenosis bentónica situado en una escollera sumergida. Numerosos individuos pertenecientes a grupos diversos conviven sujetos a relaciones de predación, simbiosis, comensalismo, parasitismo e inquilinismo. Arriba, una representación esquemática de migración vertical de algunos organismos planctónicos (copépodos, celentéreos, misidáceos) ligada a la temperatura del agua, a la luz y al alimento. Durante el día viven en las capas más profundas para protegerse de la temperatura y de la luz excesivas de las capas superficiales, que resultan perjudiciales para el zooplancton. Al atardecer suben a la superficie para alimentarse y vuelven a bajar antes del amanecer.

gración nocturna hacia la capa fótica, o por los detritus que descienden de capas superiores; este último recurso es utilizado también por los organismos bentónicos profundos. Otra parte de los detritus es utilizada, junto con los productos de la excreción animal, por las bacterias, responsables de una producción que permite la existencia de otros organismos. Al mismo tiempo, liberan en el agua las sales nutritivas, que son reutilizadas por los organismos vegetales al ser subidas a la zona fótica por las corrientes verticales que existen en el océano.

Con la profundidad, generalmente, la densidad de organismos disminuye, y estos presentan estructuras características, como bocas grandes, ojos muy desarrollados, órganos productores de luz, etcétera.

La vida en las profundidades La idea clásica según la cual a grandes profundidades no sólo la temperatura es baja sino que también escasea el alimento (con la consecuencia de que las especies de profundidad tendrían ritmos metabólicos más lentos que las que viven cerca de la superficie) y las poblaciones son más dispersas se ha comprobado que no constituye una norma general.

Recientemente, investigaciones en las profundidades marinas han dado como fruto descubrimientos sorprendentes, que cambian no solamente las teorías que hablan de las condiciones necesarias para la vida en la Tierra, sino que proporcionan, en opinión de algunos científicos, pruebas sobre el hecho de que el origen de la vida quizás no haya tenido lugar en las aguas poco profundas, como se había pensado hasta ahora, sino en grietas a más de 3.000 metros de profundidad.

En 1981, la expedición científica estadounidense *Oasis* descubrió cerca de la Cresta Pacífica Oriental, a lo largo de la costa de California, a 21 grados de latitud Norte y a unos 3.000 m de profundidad, una serie de fracturas hidrotermales en las que se encuentran encerrados gases (en particular ácido sulfhídrico) que emanan de una brecha del manto terrestre superior. En esa zona, el fondo estaba cubierto de un denso poblamiento de bivalvos gigantes, mejillones, anélidos y otras especies desconocidas hasta el momento. Lo que de por sí era ya sorprendente, lo es aún más si se piensa que en las grietas la temperatura supera los 180 °C, y la presión es aproximadamente unas 200 veces la existente sobre la superficie terrestre.

Antes de ese descubrimiento los científicos pensaban que a tales temperaturas la vida era imposible. Sin embargo, algunos expertos han concluido que la combinación de altas temperaturas con altas presiones representa un factor crucial de supervivencia en las grietas, ya que si la presión fuese normal, el agua herviría y se transformaría en vapor. Asimismo, el grupo *Oasis* descubrió que los organismos de dichas grietas respiran, digieren, segregan y se reproducen con ritmos comparables a los de los habitantes de las aguas poco profundas.

La explicación de todo esto reside en el hecho de que en las proximidades de las grietas el alimento no es escaso como en el resto de los fondos abisales, sino abundante gracias a la población bacteriana, que se desarrolla con gran rapidez y que, a partir del ácido sulfhídrico, y por un proceso de quimiosíntesis, genera la materia orgánica *in situ*, siendo filtrada ésta por bivalvos, gusanos etc., dando lugar así a una intensa cadena trófica.

Recogida de muestras de organismos marinos Los biólogos marinos recogen muestras del mar y las analizan en laboratorios permanentes situados en tierra o a bordo de embarcaciones oceanográficas.

Para el estudio de la fauna bentónica litoral, aproximadamente hasta los 50 m, se utiliza preferentemente la *escafandra autónoma* de inmersión, que permite la toma de muestras de los organismos sésiles (fijos) o de escasa movilidad, y la observación de la fauna vágil (que se mueve rápidamente). Para profundidades mayores se emplean las *dragas*, *redes de arrastre*, *nasas* y aparatos como el *batiscafo* y los *sumergibles*. Las dragas pueden ser de dos tipos: de cuchara y de arrastre. Las primeras consisten en un instrumento metálico que se baja abierto y al chocar con el fondo se cierra, quedando dentro el material que constituye la muestra. Las de arrastre consisten en una jaula de red metálica con una boca rectangular protegida por un telar delantero metálico, que se arrastra por el fondo.

Para la toma de muestras de aguas se utilizan botellas especiales, denominadas *de inmersión*, que se bajan abiertas y que, mediante un mecanismo automático, se cierran a la profundidad en que se desea tomar la muestra; a esas botellas se les suelen acoplar instrumentos, como termómetros, para medir los parámetros físico-químicos del agua.

Para la obtención de muestras del necton se emplean las clásicas redes de pesca. Hoy día se han desarrollado modernos métodos acústicos que permiten detectar desde los barcos los bancos de peces pelágicos.

Para los muestreos de plancton se utilizan redes especiales de luz de malla muy fina, que se pueden arrastrar tanto horizontal como verticalmente desde una embarcación, y que pueden bajarse a distintas profundidades a intervalos determinados, para que los investigadores puedan hacer deducciones acerca de la distribución de las especies. El agua es filtrada en la red, quedando el plancton acumulado en un colector, que luego se separa del resto del aparato.

Aplicaciones de la Biología marina La vida en el océano tiene una influencia notable sobre la vida en la Tierra. Ya que contamos con el mar como fuente proveedora de alimentos y de energía, sobre nosotros recae la responsabilidad de mantener su integridad. El biólogo marino es el encargado de estudiar y conocer los organismos marinos, de evaluar los recursos utilizables y de determinar las normas para su explotación y para la conservación del equilibrio ecológico.

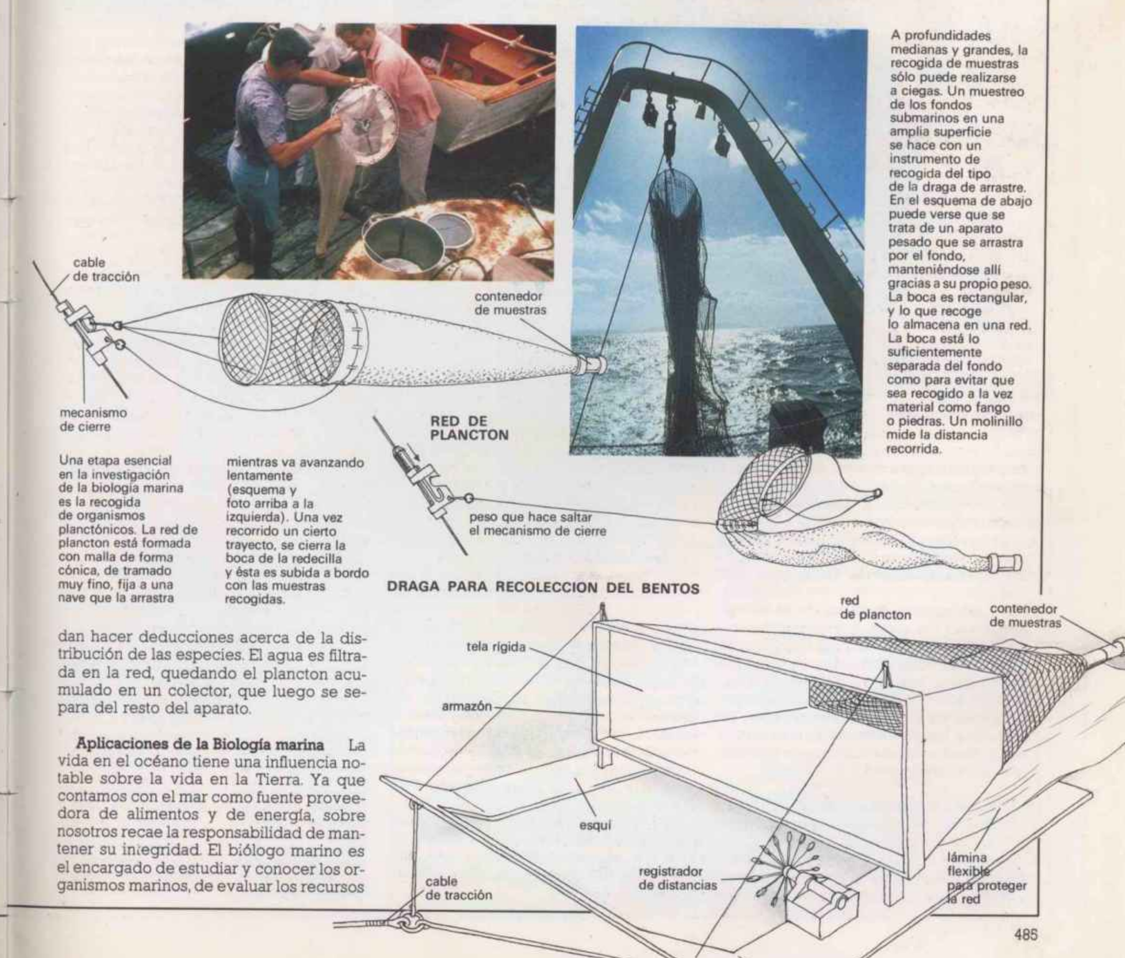
El conocimiento sobre la distribución y biología de las especies comerciales es importante, tanto para la industria pesquera como para comprender el funcionamiento de las biocenosis marinas. Una gran disminución en una población de peces podría ser señal de un actividad pesquera excesiva o de la actuación de una especie competidora o predadora que se haya visto favorecida por cualquier alteración.

La biología de las especies es importante también desde el punto de vista de los cultivos marinos, resultando éstos más productivos si hay un conocimiento profundo de la especie con la que se trabaja. También es una ayuda en el desarrollo de nuevas técnicas de pesca, cebos, trampas, etcétera.

El conocimiento de la distribución de peces y organismos que pueden dañar las estructuras realizadas por el hombre (sobre todo por perforación) constituye un importante factor en la elección del emplazamiento de un dique o de una construcción marina.

Los biólogos marinos desarrollan una tarea cada vez más importante en la tutela del patrimonio natural y en el control de la contaminación, pues si bien muchos productos de desecho son descargados en mar abierto, los organismos marinos, a través de las cadenas alimentarias, son capaces de acumular sustancias contaminantes que en último término pasan al hombre, con las conocidas y funestas consecuencias que esto tiene.

Véase **Biología; Buque oceanográfico; Plancton; Plataforma continental**



Una etapa esencial en la investigación de la biología marina es la recogida de organismos planctónicos. La red de plancton está formada con malla de forma cónica, de tramado muy fino, fija a una nave que la arrastra mientras va avanzando lentamente (esquema y foto arriba a la izquierda). Una vez recorrido un cierto trayecto, se cierra la boca de la redecilla y ésta es subida a bordo con las muestras recogidas.

A profundidades medianas y grandes, la recogida de muestras sólo puede realizarse a ciegas. Un muestreo de los fondos submarinos en una amplia superficie se hace con un instrumento de recogida del tipo de la draga de arrastre. En el esquema de abajo puede verse que se trata de un aparato pesado que se arrastra por el fondo, manteniéndose allí gracias a su propio peso. La boca es rectangular, y lo que recoge lo almacena en una red. La boca está lo suficientemente separada del fondo como para evitar que sea recogido a la vez material como fango o piedras. Un molinillo mide la distancia recorrida.

Biología molecular

La anemia falciforme es una enfermedad hereditaria grave debida a una hemoglobina anormal. La hemoglobina, proteína presente en los eritrocitos o glóbulos rojos de la sangre que asegura el transporte de oxígeno en la circulación sanguínea, está constituida por unos 300 animoácidos; la hemoglobina normal y la que causa la anemia falciforme se diferencian tan sólo en un aminoácido de los 300, pero esta pequeñísima diferencia, en una molécula que mide tan sólo 7 nm (1 nm = una millonésima de milímetro), basta para provocar un estado de abatimiento, dolencia y finalmente la muerte. Este ejemplo muestra, con extrema claridad, la importancia de las explicaciones basadas en las moléculas que constituyen los seres vivos, explicaciones que se articulan en la disciplina denominada *Biología molecular*, que ha experimentado un rapidísimo desarrollo a partir de 1950.

La Genética y la Bioquímica son las dos ciencias complementarias que forman la Biología molecular. La Bioquímica, por ejemplo, nos explicará cómo determinadas proteínas se encargan de la síntesis de ciertos pigmentos, que a su vez determinarán el color castaño del cabello o de los ojos de cierto individuo; la Genética, por su parte, nos revelará cómo la información hereditaria controla la síntesis de las proteínas, cuál es la probabilidad de que dicho individuo transmita esos rasgos a sus descendientes o cómo esa información sufre mutaciones y evoluciona.

La macromolécula de ADN El ADN (ácido desoxirribonucleico) es la molécula más "importante" para la Biología molecular. Se dice que es una macromolécula haciendo referencia a su extraordinaria longitud y complejidad; se la llama "nucleico" porque se encuentra en el núcleo de las células. Si "estirásemos" todas las cadenas de ADN contenidas en el núcleo de una célula humana y las pusiéramos una a continuación de otra, la longitud del hilo así obtenido sería de casi 2 metros; la longitud total del ADN de un ser humano alcanzaría la sorprendente cifra de más de ciento cincuenta mil millones de kilómetros (más de mil veces la distancia de la Tierra al Sol).

El ADN se encuentra formando parte de los cromosomas, orgánulos del núcleo celular que sirven de vehículo a esos segmentos de información hereditaria llamados *genes*.

Estructura del ADN Los ácidos nucleicos ya habían sido identificados hacia la mitad del siglo XIX, pero no fue hasta el año 1953 cuando James D. Watson y Francis H. C. Crick descubrieron la estructura del ADN y las especiales propiedades que esa estructura permite. El análisis de la estructura del ADN fue realizada mediante una técnica basada en la difracción de rayos X. Si se hace incidir un haz de rayos X sobre una molécula, se obtiene un espectro de difracción. La disposición de las manchas en el fotograma así obtenido permite deducir, por métodos matemáticos, la posición de los átomos en la molécula original.

Watson y Crick postularon para la molécula de ADN la ya famosa estructura en "doble hélice". Esa estructura, como veremos a continuación, permite a la molécula de ADN dividirse fácilmente, replicarse y almacenar una increíble cantidad de información en un espacio extraordinariamente reducido.

La doble hélice está constituida por dos cadenas similares, cada una de las cuales es un polímero de unas unidades elementales llamadas *nucleótidos*. Cada nucleótido está formado por una molécula de un azúcar llamado *dexoxirribosa*, unida por un lado a un grupo fosfato y por otro a una molécula especial o "base". Según la base que contengan, se distinguen cuatro tipos de nucleótidos en el ADN: nucleótido de adenina, de guanina, de timina y de cito-

músculo estriado que contiene fibras musculares

nervio motor

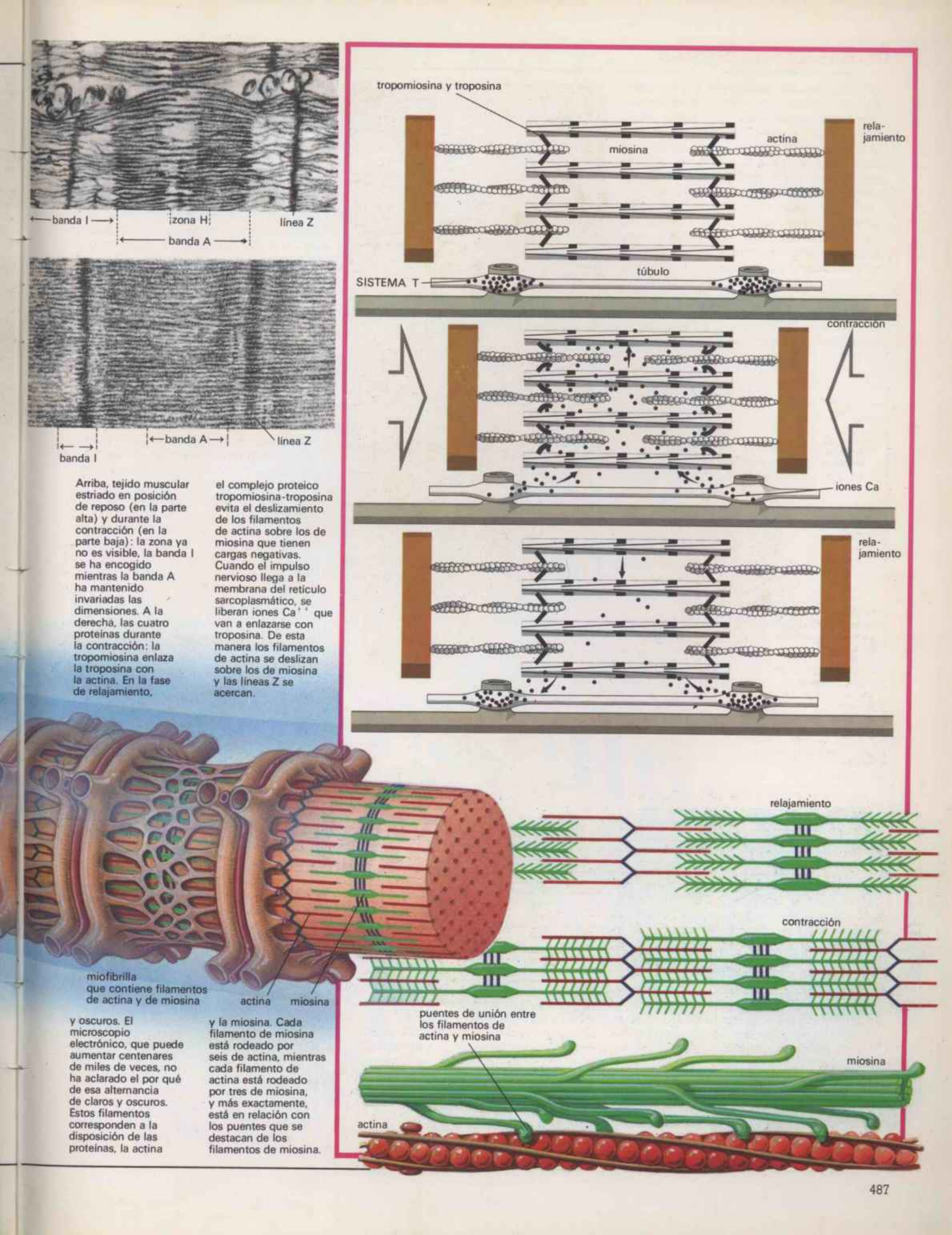
fibra muscular que contiene *miofibrillas*

nervio motor que manda la contracción muscular

capilar

La influencia que la Biología molecular tendrá sobre el futuro de la Medicina será de gran importancia. En particular, el hecho de que en la base de esta disciplina esté el estudio de la estructura y de las funciones de los ácidos nucleicos hace pensar que el progreso de muchos sectores de la Medicina depende de ella.

Estudiando el mecanismo de la contracción muscular se puede llegar a analizar el funcionamiento de las cuatro proteínas que lo protagonizan: la actina, la miosina, la tropomiosina y la troposina. La foto de arriba, a la izquierda, es una representación microscópica que muestra la relación entre el nervio motor y el músculo. El músculo estriado consta de numerosas fibras envueltas en una fina membrana o sarcolema. Cada fibra a su vez está constituida por numerosas miofibrillas, cuya unidad estructural es el sarcómero, que aparecen compuestas de hilamientos claros



Arriba, tejido muscular estriado en posición de reposo (en la parte alta) y durante la contracción (en la parte baja): la zona ya no es visible, la banda I se ha encogido mientras la banda A ha mantenido invariadas las dimensiones. A la derecha, las cuatro proteínas durante la contracción: la tropomiosina enlaza la troposina con la actina. En la fase de relajamiento, el complejo proteico tropomiosina-troposina evita el deslizamiento de los filamentos de actina sobre los de miosina que tienen cargas negativas. Cuando el impulso nervioso llega a la membrana del retículo sarcoplasmático, se liberan iones Ca^{++} que van a enlazarse con troposina. De esta manera los filamentos de actina se deslizan sobre los de miosina y las líneas Z se acercan.

y oscuros. El microscopio electrónico, que puede aumentar centenares de miles de veces, no ha aclarado el por qué de esa alternancia de claros y oscuros. Estos filamentos corresponden a la disposición de las proteínas, la actina y la miosina. Cada filamento de miosina está rodeado por seis de actina, mientras cada filamento de actina está rodeado por tres de miosina, y más exactamente, está en relación con los puentes que se destacan de los filamentos de miosina.

sina. El azúcar de cada nucleótido se une al grupo fosfato del nucleótido siguiente y, de este modo, se forma una cadena larga en la que una molécula de azúcar alterna con una de fosfato. La secuencia de bases a lo largo de la cadena es aperiódica, lo que permite al ADN almacenar información, análogamente a como la secuencia aperiódica de letras de este texto alberga su información.

Para formar la molécula completa de ADN una cadena se enrolla sobre otra, de modo que sus respectivas bases queden enfrentadas y unidas por puentes de hidrógeno. El apareamiento entre bases no es al azar: la adenina "hace pareja" con la timina, y la guanina con la citosina, y viceversa. De ese modo, cada cadena resulta complementaria de la otra y, si se separaran, cada una podría servir de molde para la síntesis de una nueva cadena idéntica a la "vieja", replicándose así la información del ADN.

El lenguaje del ADN El ADN no es el único tipo de ácido nucleico que hay en las células; éstas también contienen ARN, otro tipo de ácido nucleico, que se diferencia del ADN en que consta de una sola cadena y en que, en su cadena única, encontramos el azúcar ribosa, en vez de la desoxirribosa típica del ADN, y la base uracilo, en vez de timina. Por lo demás, el ARN es muy parecido al ADN.

Todo el ARN de una célula se sintetiza sobre un molde de ADN. Para ello, las dos cadenas de la doble hélice se separan transitoriamente, como una cremallera cuando se abre, y una enzima, llamada *polimerasa del ARN*, cataliza (es decir, acelera) la formación, a partir de nucleótidos aislados presentes en el núcleo de la célula, de una cadena de ARN complementaria de una de las cadenas del ADN, en la cual a cada nucleótido del ARN le corresponde un nucleótido complementario en el ADN.

La información del ADN se va a utilizar, una vez transcrita en ARN, para dirigir la síntesis de las proteínas celulares. Las proteínas son unas macromoléculas complejas que representan el 50% del peso seco de todo el organismo y que cumplen importantes funciones (como las enzimas, algunas hormonas, los anticuerpos, etc.). Las proteínas son polímeros de unidades elementales llamadas *aminoácidos*. Cada proteína tiene una secuencia, aperiódica y característica, en la que diferentes aminoácidos, de un total posible de 20 distintos, se suceden unos a otros en un orden predeterminado por la secuencia de bases en el ADN.

En el "lenguaje" que utiliza el ADN para transmitir la información que contiene, una secuencia de 3 nucleótidos adyacentes, llamada *codón*, forma una palabra que corresponde a uno de los veinte aminoácidos. Una serie consecutiva de codones forma una "frase completa", de la misma manera que una serie consecutiva de aminoácidos forma una proteína.

¿Cómo se forman las proteínas a partir del ADN? Primero el ADN se transcribe a ARN y luego tres tipos diferentes de ARN colaboran entre sí para sintetizar la proteína. El primer tipo de ARN se llama *ribosómico*, porque aparece en el citoplasma celular unido a ciertas proteínas formando unas pequeñas esferas llamadas *ribosomas*. Los ribosomas son los orgánulos celulares en los que tiene lugar la síntesis de proteínas.

El segundo tipo de ARN se llama *mensajero*, porque transporta la información del ADN desde el núcleo hasta el citoplasma. A diferencia de los ribosomas, cada uno de los cuales puede participar en la síntesis de proteínas muy distintas, cada molécula de ARN mensajero participa en la síntesis de un único tipo de proteína, aquélla cuya secuencia de aminoácidos viene determinada por la secuencia de codones de dicho mensajero.

El tercer tipo de ARN se llama *transferente* porque recoge los aminoácidos libres presentes en el citoplasma y los transfiere sobre la cadena naciente de proteína, guiándose para ello por las instrucciones emanadas del ARN mensajero.

La proteína toma forma En 1955, el químico estadounidense Linus Pauling sugirió que la estructura de una proteína no depende únicamente de su secuencia de aminoácidos, sino también de la forma como la cadena se pliega en el espacio. Efectivamente, en la proteína madura, tal como la encontramos en el citoplasma, la cadena de aminoácidos está enrollada y torcida para asumir una estructura tridimensional específica de cada proteína. Esta *forma* tridimensional es esencial para que la proteína cumpla correctamente su *función* bioquímica.

La teoría evolucionista se ha visto confirmada por los estudios sobre la estructura de las proteínas. Tomemos como ejemplo el trabajo, considerado ya clásico, de tres científicos estadounidenses sobre el citocromo C, una proteína del ciclo respiratorio, presente prácticamente en todos los animales y vegetales. Dichos científicos compararon la secuencia de aminoácidos de los citocromos de diversas especies animales, entre ellas la humana, y encontraron que, por ejemplo, el citocromo C humano difiere del de un mono macaco *rhesus* en sólo un aminoácido; sin embargo, la diferencia crece si se consideran especies menos estrechamente emparentadas con la humana, haciéndose tanto mayor cuanto menor es el grado de parentesco entre nuestra especie y aquella con

La biología molecular estudia, entre otros temas, la información genética contenida en las moléculas de ADN. Abajo, en el extremo de la derecha, figura un esquema de la molécula mioglobina, una proteína presente en el tejido muscular al que aporta el oxígeno necesario. Esta proteína consta de 154 aminoácidos y un grupo "hemo". Los aminoácidos se unen para formar la cadena polipeptídica en el orden dictado por la secuencia de tripletes de nucleótidos, o codones, del ARN mensajero. Cada codón es reconocido por un ARN transferente cargado con el aminoácido correspondiente. El ARN transferente reconoce al codón mediante una tripleta de nucleótidos, o anticodón, complementaria del codón. Todo el proceso ocurre en los ribosomas, a los que se asocia el ARN mensajero tras su síntesis en el núcleo de la célula.



la que se compara. Así, respecto del humano, el citocromo C del caballo difiere en 11 aminoácidos, el de la gallina en 13 y el de cierto pez en 21.

La ingeniería genética En 1967, el bioquímico estadounidense Arthur Kornberg consiguió sintetizar por primera vez ADN en el laboratorio. Utilizando las enzimas necesarias, previamente aisladas de las células, Kornberg y sus colaboradores consiguieron reproducir en el tubo de ensayo una molécula de ADN de 5.500 nucleótidos, proveniente de un bacteriófago (virus que ataca a las bacterias). El ADN así obtenido podía, al igual que el del virus original, infectar bacterias.

Posteriormente las técnicas de manipulación *in vitro* del ADN han registrado avances de gran alcance. Estas técnicas se han desarrollado hasta el grado de que hoy día es posible extraer ADN de una célula, fragmentarlo, unir alguno de los fragmentos al ADN extraído de otra célula y reinsertar el nuevo ADN así obtenido en células vivas. Es frecuente en estos experimentos utilizar, como vehículo del ADN a clonar, ciertas moléculas circulares de ADN, llamadas *plásmidos*, que se encuentran en el citoplasma de la bacteria *Escherichia coli* (bacteria común en la flora intestinal humana). Tanto el ADN a clonar, extraído del organismo de que se trate, como el plásmido, se someten a la acción de ciertas enzimas especiales que "cortan" la doble hélice, y, una vez abierto el anillo del plásmido, se conecta un trozo de ADN "extranjero" al plásmido y se vuelve a cerrar el anillo mediante enzimas que reparan las incisiones del ADN. La molécula recombinante así obtenida se reintroduce en la bacteria, en la que, si el "trasplante de genes" tuvo éxito, dirigirá la síntesis de un tipo de proteínas que normalmente no fabrica esta bacteria, sino que son típicas del organismo donador del ADN injertado en el plásmido.

Implicaciones del ADN recombinante La producción de moléculas de ADN recombinante es el fundamento de la ingeniería genética, es decir, de la manipulación del material hereditario de los seres vivos. Las implicaciones comerciales de las técnicas de ingeniería genética son enormes. Se espera fabricar cepas bacterianas que produzcan —a gran escala y a precios económicos— antibióticos y otros productos bioquímicos. Experimentos de laboratorio han demostrado que es posible introducir segmentos de ADN humano, incluso genes completos, en células bacterianas, lo que abre la posibilidad de producir, mediante cultivos bacterianos, proteínas humanas tan útiles y tan difíciles de obtener actualmente: como anticuerpos, la hormona insulina o los factores proteicos de la coagulación de la sangre. Por ejemplo, en un célebre experimento realizado en 1977, Herbert Boyer, investigador de la universidad de California, obtuvo una cepa bacteriana capaz de fabricar somatostatina, la hormona del crecimiento producida por el hipotálamo. Si para obtener 5 miligramos de hormona del crecimiento se necesitaba antes utilizar los cerebros de medio millón de ovejas, actualmente basta con 8 litros de cultivo bacteriano.

La más controvertida posibilidad que nos ofrece la ingeniería genética es la de alterar, en un futuro próximo, el patrimonio genético humano. La "reparación" del gen defectuoso podría rendir grandes beneficios a personas afectadas de enfermedades hereditarias, como la anemia falciforme antes citada, pero aún se están debatiendo las implicaciones éticas de este tipo de operaciones, y el problema dista mucho de estar resuelto.

Véase **Desoxirribonucleico y Ribonucleico, ácidos; Cromosoma; Genes; Síntesis proteica**

Indice
Volumen II

